

DESENVOLVIMENTO DE UMA TINTA DECORATIVA DE INTERIORES COM UTILIZAÇÃO DE CORTIÇA

TESE DE MESTRADO

de

SÍLVIA MARGARIDA GONÇALVES TEIXEIRA

DESENVOLVIDA NO ÂMBITO DA UNIDADE CURRICULAR DE DISSERTAÇÃO

realizada em

Tintas Barbot & Amorim Cork Composites



Orientador na FEUP: **Prof. Fernão Magalhães**

Orientador na *Tintas Barbot*: **Eng.º Nuno Barbosa**

Orientador na *Amorim Cork Composites*: **Eng.ª Susana Silva**

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

JULHO, 2014

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a todos os que me ajudaram e apoiaram no desenvolvimento deste trabalho, particularmente:

À empresa *Tintas Barbot*, nomeadamente ao meu orientador, Eng.º Nuno Barbosa, pela transmissão de conhecimentos e pelo interesse e disponibilidade manifestados durante todo o projeto. Ao Eng.º João Braga pela motivação e apoio prestado durante todo o estágio. À minha colega e amiga Bruna Coelho, pela excelente integração na empresa e pelo apoio e entusiasmo que me motivaram e me mantiveram focada ao longo de todo o trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Doutor Fernão de Magalhães, pela ajuda e disponibilidade ao longo de todo o semestre.

À *Amorim Cork Composites*, particularmente à Eng.ª Susana Silva, pela colaboração prestada.

Ao Eng.º Luís Carlos Matos pela ajuda na realização dos ensaios para a medição da distribuição granulométrica do granulado de cortiça, no Departamento de Engenharia Química da FEUP.

À *Omya S.A.*, em especial ao Eng.º Mário Pacheco pela disponibilidade na realização das medições da distribuição granulométrica do granulado de cortiça e das tintas desenvolvidas.

Ao Eng.º Eduardo Costa pelo entusiasmo demonstrado e pela valiosa ajuda na realização dos ensaios no Laboratório de Acústica do Departamento de Engenharia Civil da FEUP.

RESUMO

A cortiça é um material cujas potencialidades continuam a ser reconhecidas e é tomada cada vez mais como uma preferência no setor da construção, promovendo vantagens no plano da qualidade e conforto de habitações e auditórios. Este material de estrutura porosa é capaz de potencializar a correção sonora por absorção acústica e a diminuição do tempo de reverberação em determinados ambientes.

O presente estudo teve como principal objetivo o desenvolvimento de uma solução decorativa para interiores, formulada a partir da incorporação de diferentes percentagens de granulado e pó de cortiça que possibilitasse melhorias no seu desempenho acústico. Pretendia-se portanto, que a cortiça incorporada na tinta absorvesse grande parte da energia total do som incidente, diminuindo a intensidade do som refletido.

Com base nos princípios e conhecimentos básicos adquiridos para a formulação de uma tinta, foram desenvolvidas a partir de uma tinta acrílica de base aquosa de médio PVC, duas soluções acústicas. Para tentar compreender melhor a influência da adição de cortiça na tinta, da sua granulometria e da espessura da camada de tinta foram aplicadas sobre provetes de gesso cartonado para posterior avaliação.

A performance acústica foi avaliada a partir dos valores do coeficiente de absorção sonora por bandas de frequência de 1/3 de oitava, a partir dos ensaios na câmara reverberante da FEUP.

Com a sua análise concluiu-se que as soluções desenvolvidas, a partir da incorporação de diferentes percentagens de cortiça, não apresentam melhorias no desempenho acústico para se tornarem com expressão comercial face aos materiais absorventes comuns.

Para que se verificassem melhorias no desempenho acústico das soluções desenvolvidas, seria necessário aumentar a percentagem de cortiça incorporada.

PALAVRAS-CHAVE: Cortiça; Acústica; Absorção Sonora; Tinta.

Abstract

Cork is a material whose potentialities continue to be recognized and is ever more taken as a preference in the building sector, providing advantages in terms of quality and coCort of houses and auditoriums. This material, with porous structure, is able to enhance the sound correction for sound absorption and reduction of reverberation time in some environments.

The present study had as main objective develop a decorative solution for interiors, formulated from the incorporation of different percentages of granulated and powdered cork that enabled improvements in their acoustic performance.

It was intended therefore incorporated into the cork paint absorbing much of the total energy of the incident sound, reducing the intensity of the reflected sound.

Based on the principles and basic knowledge acquired to the formulation of paint have been developed two acoustic solutions from a water-based acrylic paint. To attempt to understand the influence of the addition of cork in the paint, their particle size and the thickness of the paint layer were applied to test pieces of carton gypsum for further evaluation.

The acoustic performance has been evaluated based on the values of the sound absorption coefficient for the frequency bands from the tests in reverberating chamber at FEUP.

With its analysis it was concluded that the solutions developed from incorporating different percentages of cork, do not significantly improve the sound absorption of its application to become a commercial expression on common absorbent materials. To the occurrence of improvements in noise performance of the solutions developed, it would be necessary to increase the percentage of incorporated cork.

KEYWORDS: Cork; Acoustic; Sound Absorption; Paint.

DECLARAÇÃO

Declaro, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

22 de Julho de 2014, Porto

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	II
RESUMO.....	III
ABSTRACT.....	IV
DECLARAÇÃO.....	V
NOTAÇÃO E GLOSSÁRIO	3
1 INTRODUÇÃO	4
1.1 ENQUADRAMENTO E APRESENTAÇÃO DO PROJETO.....	4
1.2 ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	5
2 CONTEXTO E ESTADO DA ARTE	6
2.1 INTRODUÇÃO	6
2.2 A CORTIÇA NA ATUALIDADE	9
2.2.1 <i>A química e morfologia da cortiça</i>	10
2.2.1.1 Morfologia da cortiça.....	10
2.2.2 <i>Composição química global da cortiça</i>	11
2.2.2.1 Componentes Estruturais.....	11
2.2.2.2 Componentes Extratáveis	11
2.2.3 <i>Propriedades peculiares da cortiça</i>	12
2.3 NOÇÕES GERAIS SOBRE TINTAS.....	12
2.3.1 <i>Constituintes de uma tinta</i>	12
2.3.1.1 Extrato seco.....	13
2.3.1.2 Veículo volátil.....	13
2.3.2 <i>Formulação de uma Tinta</i>	14
2.4 NOÇÕES GERAIS SOBRE ACÚSTICA	15
2.4.1 <i>Absorção Sonora</i>	15
2.4.1.1 Coeficiente de absorção sonora	15
3 DESCRIÇÃO TÉCNICA.....	17
3.1 MATERIAIS.....	17
3.1.1 <i>Tinta Acústica KAR</i>	17
3.1.2 <i>Tinta Acousti-coat da Hy-Tech Thermal Solutions</i>	17
3.1.3 <i>Granulado de cortiça</i>	18
3.1.4 <i>Óleo de linhaça bruto</i>	19
3.2 MÉTODOS.....	20

3.2.1	<i>Medição da distribuição granulométrica do granulado de cortiça</i>	20
3.2.2	<i>Teste de absorção de óleo ao granulado de cortiça</i>	20
3.2.3	<i>Desenvolvimento da formulação e fabrico da tinta</i>	21
3.2.4	<i>Caracterização das tintas desenvolvidas</i>	22
3.2.4.1	Determinação das viscosidades Stormer, Brookfield e ICI	22
3.2.4.2	Determinação da densidade	23
3.2.4.3	Determinação do pH	23
3.2.4.4	Determinação do teor de sólidos em peso	23
3.2.4.5	Determinação da brancura, opacidade e brilho	23
3.2.4.6	Análise da estabilidade	23
3.2.5	<i>Análise da distribuição granulométrica das tintas formuladas</i>	23
3.2.6	<i>Análise da exsudação de taninos na cortiça</i>	24
3.2.6.1	Resistência do revestimento à água	24
3.2.6.2	Metodologia para a 'lavagem' do pó de cortiça	24
3.2.7	<i>Requisitos e especificações dos ensaios acústicos</i>	24
3.2.7.1	Preparação dos provetes de ensaio	24
3.2.7.2	Determinação laboratorial da absorção sonora	25
4	ENSAIOS E RESULTADOS	28
	Medição da absorção sonora em câmara reverberante	36
5	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	43
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXO I		49
ANEXO II		50
ANEXO III		54

NOTAÇÃO E GLOSSÁRIO

A	Área	m^2
P	Pressão	Pa
T_R	Tempo de Reverberação	s
T	Temperatura	$^{\circ}C$
V	Volume	m^3
c	Velocidade de propagação do som no ar	$m.s^{-1}$
m_i	Coeficiente de absorção sonora do ar	m^{-1}
L	Comprimento	m
D_v	Diâmetro da partícula (em volume)	μm

Letras gregas

A	Coeficiente de Absorção Acústica
α_w	Coeficiente de Absorção Acústica Ponderado
α'	Coeficiente de Atenuação Atmosférico
Θ	Temperatura do ar

Lista de Siglas

ACC	<i>Amorim Cork Composites</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
COV	Composto Orgânico Volátil
CPVC	Concentração de Pigmentos em Volume Crítica
EUA	Estados Unidos da América
ISO	Organização Internacional para a normalização
NRC	Coeficiente de Redução do Ruído
PVC	Concentração de Pigmentos em Volume
NRC	Coeficiente de Redução do Ruído

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

Atualmente, a economia sustentável, a nível global, têm vindo a crescer exponencialmente, pelo que a qualidade de vida das pessoas depende agora, mais do que nunca, do uso de produtos alternativos tanto na construção como na arquitetura e *design*.

Os excedentes industriais, convencionalmente designados por ‘materiais verdes’, são um exemplo desses produtos, tal como o granulado de cortiça, um subproduto da indústria da cortiça.

A cortiça é um dos materiais mais antigos em utilização permanente pela Humanidade. As suas potencialidades continuam ainda a ser reconhecidas e, num mundo em que a inovação e a sustentabilidade passaram a andar a passos juntos, este material desperta um especial interesse em cada vez mais setores, dando vida a novos produtos e aplicações.

No setor da construção, a cortiça é uma preferência cada vez mais evidente, já que combinando ecologia com desempenho, promove vantagens no plano da qualidade dos edifícios, do ar interior e do conforto.

A casa, um espaço privilegiado de conforto e qualidade, é por sua vez um lugar que inspira criatividade reforçada pela qualidade dos materiais que para ela são selecionados, sendo a escolha de uma tinta interior na sua construção e decoração assumidamente importante. A sua seleção deverá ir ao encontro das características e necessidades adequadas para uma melhoria do conforto do espaço interior.

Para se obter boa qualidade e durabilidade neste tipo de revestimentos em espaços interiores, a escolha da tinta adequada deve ser ponderada a jusante da fase do projeto, através de uma escolha que permita minimizar a sua manutenção ao longo dos anos.

Aliada pela qualidade e inovação a *Barbot* pretende, em conjunto com a *Amorim Cork Composites*, desenvolver uma solução decorativa para interiores, formulada a partir da incorporação de diferentes percentagens de granulado e pó de cortiça que possibilite melhorias no seu desempenho acústico.

Este material de estrutura porosa oferece valiosas vantagens no campo da acústica, permitindo uma correção sonora por absorção acústica e diminuição do tempo de reverberação em

determinados ambientes. Pretende-se assim, que o pó de cortiça incorporado na tinta decorativa de interiores em desenvolvimento, absorva uma parte da energia total do som incidente, diminuindo a intensidade do som refletido.

Numa fase inicial do projeto, foi formulada uma tinta de interiores de base aquosa, à qual foram incorporados diferentes gamas de granulados de cortiça em diferentes proporções. Na sequência deste trabalho, foram feitas diversas avaliações técnicas de controlo de qualidade ao produto, nomeadamente, a avaliação da estabilidade e do desempenho acústico. Foram produzidas várias soluções decorativas resultantes da mesma “tinta base” com a incorporação de cortiça na forma de pó.

Na formulação e produção da tinta foi essencial a colaboração da empresa *Barbot* que participou ativamente no processo de fabrico da tinta e montagem dos provetes. Os provetes submetidos a ensaios acústicos, constituídos por um suporte em gesso cartonado de 10 m² de área revestidos com cada uma das tintas produzidas, foram ensaiados em câmara reverberante no Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Os resultados foram posteriormente analisados e comparados com trabalhos já desenvolvidos e referenciados neste âmbito.

O progresso deste projeto deu origem a um processo iterativo até ao desenvolvimento de soluções que satisfizeram ambos os promotores industriais.

1.2 Organização da Tese

Esta dissertação é constituída por seis capítulos, organizados da seguinte forma:

- **Capítulo 1: Introdução**

Capítulo introdutório onde é explicado a importância e relevância deste trabalho, os objetivos propostos e o modo como está organizado o trabalho.

- **Capítulo 2: Estado de Arte**

Apresentam-se referências de estudos e produtos desenvolvidos no mesmo âmbito do trabalho. Neste capítulo é feita uma síntese aos princípios essenciais e cruciais no desenvolvimento de uma tinta, pretende-se também transmitir alguns dos conhecimentos básicos de acústica e do sector corticeiro necessários a uma melhor compreensão do trabalho desenvolvido.

- **Capítulo 3: Descrição Técnica**

Carateriza-se as principais matérias-primas utilizadas para o desenvolvimento e caracterização da tinta. Explicam-se também as várias metodologias aplicadas em cada ensaio.

- **Capítulo 4: Ensaio e Resultados**

Caracteriza-se a composição das amostras produzidas e o seu modo de fabrico. Apresentam-se também os resultados obtidos na câmara reverberante.

- **Capítulo 5: Conclusões e Desenvolvimentos Futuros**

Apresentam-se as conclusões e reflexões do trabalho desenvolvido com algumas considerações para eventuais desenvolvimentos futuros.

CONTEXTO E ESTADO DA ARTE

2.1 Introdução

Existe uma certa controvérsia em relação ao desenvolvimento de tintas capazes de absorver o som, em grande parte, devido às limitações físicas e texturais que envolvem uma película de tinta solicitada. Além disso existe ainda alguma falta de conhecimento científico quando se abordam assuntos relacionados com a acústica, nomeadamente, na distinção entre o que é isolamento sonoro e correção acústica. Por outro lado, e apesar da existência de alguma bibliografia desenvolvida neste âmbito, poucas revelam referências credíveis que comprovem as propriedades acústicas das tintas atualmente comercializadas. No entanto, são conhecidos já alguns trabalhos académicos, anteriormente desenvolvidos no âmbito deste tema. A dissertação com o tema “*Desenvolvimento de “tinta” com pó de cortiça com desempenho acústico otimizado*”, um trabalho desenvolvido por Daniela Dolgner em 2010, bem como a dissertação de Ricardo Santelmo, com o tema “*Contributos para o desenvolvimento de uma tinta com características de absorção sonora*” desenvolvida em 2013, são dois desses trabalhos, ambos desenvolvidos na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Relativamente, à primeira dissertação referenciada, foram produzidas e testadas diferentes composições de tintas resultantes da incorporação de cortiça, em forma de pó, com dimensões médias entre os 0,104 μm (em número). Este trabalho teve como principal objetivo melhorar a capacidade de absorção acústica de uma tinta já comercializada. Os ensaios acústicos foram realizados em câmara reverberante, utilizando amostras com diferentes porções de pó de cortiça. Deste trabalho conclui-se que, sob consequência da incorporação do pó de cortiça, o coeficiente de absorção sonora da tinta sofre um ligeiro aumento, principalmente para frequências sonoras mais elevadas. Contudo, estes resultados não foram suficientemente satisfatórios para tornar a solução acústica comercialmente atrativa. (1)

Em relação ao estudo da dissertação de Ricardo Santelmo, foi desenvolvida uma tinta com características melhoradas de absorção sonora. Numa das soluções desenvolvidas, a partir de uma tinta existente, foi adicionado pó de cortiça e numa outra solução foi adicionado uma mistura de pó com granulado de cortiça. Os ensaios acústicos foram também realizados em câmara reverberante a fim de se determinar os coeficientes de absorção sonora de cada

solução desenvolvida. Concluiu-se, através dos resultados obtidos neste trabalho, que a tinta desenvolvida com adição da cortiça não terá um desempenho aceitável para ser utilizada como um material absorvente sonoro.

É conhecida também a Patente de Invenção Nacional PT 103895 B de autoria do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, concedida a 19 de Janeiro de 2010, que apresenta o desenvolvimento de novas tintas com incorporação de partículas de cortiça com vista à melhoria dos comportamentos a nível do isolamento acústico e da absorção acústica. Esta patente foi desenvolvida no âmbito de um estudo anteriormente desenvolvido por L. Gil e N. Marreiros intitulado de “*Tintas com incorporação de partículas de cortiça para melhor comportamento térmico e acústico*”. Neste trabalho, sabe-se que as tintas são obtidas pela incorporação de partículas de cortiça com diferentes granulometrias e em diferentes proporções em tintas comerciáveis para interior e exterior de edifícios para a possibilidade de promover melhores comportamentos térmicos e acústicos quando comparadas com as tintas correntes. Além destes aspetos, também foi tomado em conta a necessidade da tinta ser fácil de produzir, misturando produtos correntes existentes no mercado, simples de aplicar e que não implicasse muitos custos.

As amostras com as soluções isolantes foram testadas num tubo de ondas estacionárias. Os autores concluíram que a adição de cortiça fez aumentar o coeficiente de absorção sonora da tinta em 43%, numa frequência de 2800 Hz para uma granulometria situada entre os 0,5 e 2 mm, e para proporções entre 1,0 a 2,5% de cortiça, por volume. (2) Também ficou demonstrado que uma granulometria maior das partículas de cortiça confere à tinta melhor capacidade de absorção. Para além destes dados, esta patente não apresenta qualquer registo da composição química das tintas nem de nenhuma referência a valores concretos de absorção sonora das amostras e quanto aos ensaios, é importante referir, que o ensaio em tubo de ondas estacionárias não é o mais indicado para testar uma tinta, visto ser um material com pouca espessura e com uma capacidade de absorção previsivelmente inferior aos materiais absorventes comercializados. Sendo assim, os ensaios acústicos deveriam ter sido realizados em câmara reverberante onde a área de amostragem é muito maior, representando por isso uma maior aproximação à realidade.

São também conhecidas outras patentes, desenvolvidas a nível internacional, que descrevem formulações com a incorporação de partículas isolantes, com o objetivo de melhorar as capacidades acústicas e térmicas da tinta e que são em seguida referenciadas:

A **Patente Europeia EP 0 872 527 B1** desenvolvida em 1997, refere-se a uma composição de tinta com pó de cortiça incorporado (com dimensão inferior a 0,25 mm) com propriedades melhoradas, tanto na redução da transmissão por impacto como no aumento da resistência à abrasão. (3)

A **patente japonesa JP 58204059** refere-se a uma tinta que incorpora cerca de 10% pó de cortiça, com dimensões situadas entre os 0,150 mm, para aplicações em madeira e painéis.

As **patentes coreanas KR 2020046395 (4)** e **KR 2003026710 (5)** referem-se a uma solução de pintura, que incorporam na sua composição materiais naturais ou uma mistura de materiais naturais e inorgânicos, prevendo a possibilidade da inclusão de pó de cortiça.

Para além de todas estas patentes existentes, existem ainda na arte, as patentes **KR 20000049714A (6)** e **JP61076568A (7)** que se referem a um outro tipo de “cortiça” também assim designado, mas proveniente de uma outra espécie de árvore que não a *Quercus suber* L., utilizado nas composições de tintas referidas.

Em seguida, são também referenciados exemplos de tintas, atualmente comercializadas, utilizadas para alegadamente absorverem o som.

- **“Acousti-Coat”, Hy-Tech Thermal Solutions, Sound Deadening Latex Coating (8)**

A *Acousti-Coat* é a solução acústica apresentada pela *Hy-Tech Thermal Solutions*, sediada nos EUA. É apresentada como uma tinta de látex aquosa, lisa, formulada com uma carga de microesferas cerâmicas e pigmentos especiais, desenvolvida com o objetivo de “reduzir o eco” no interior de salas. De acordo com o fabricante, a combinação de uma carga elevada de microesferas cerâmicas com o interior sob vácuo, permitem uma redução na transmissão do som, juntamente com as cargas de pigmentos que permitem uma melhor absorção sonora impedindo que o som reflita nas superfícies. A redução de ruído, por absorção sonora, a sensivelmente 500 Hz, promete ser de aproximadamente 30%. Neste caso fala-se em percentagem de som absorvido para quantificar a redução sonora numa parede revestida com o produto, quando esse valor devia ser apresentado em dB. É recomendada para uso em interiores, tetos e paredes. Serve como barreira à perda de calor e devido à sua leve textura oculta defeitos nas superfícies; é de fácil aplicação, rápida secagem e amiga do ambiente.

- **“Tinta Acústica 3048”, Tintas KAR, Lda. (9)**

A Tinta Acústica 3048 é a solução acústica apresentada pela fábrica de Tintas KAR, Lda. Segundo o fabricante é uma tinta reforçada com pequenas partículas absorventes do som que ao ser aplicada reduz a reflexão do som. Além disso, possui uma ótima adesão a substratos com características semelhantes ao gesso cartonado, possui também um bom poder de cobertura sendo portanto uma solução de fácil aplicação e com boa resistência à água. A composição conta com uma emulsão dum éster acrílico como veículo, uma concentração volumétrica de pigmento de cerca de 70% e com água, como solvente. Mais nenhuma informação é acrescentada acerca deste produto.

- **“CORKwall”, Amorim Cork Composites (10)**

O *CORKwall* foi desenvolvido pela *Amorim Cork Composites*, como revestimento a aplicar pelo exterior de coberturas e fachadas com partículas coloridas impregnadas na base. Ideal para aplicações no exterior em fachadas, devido à sua elevada resistência e elasticidade. Segundo a ACC, este produto é uma mistura de granulados de cortiça selecionados, com resinas de base aquosa, cargas minerais e aditivos, com acabamento final térmico, acústico e anti-

fissuras. Dada a sua flexibilidade promete cobrir fendas e rachas e quando aplicado com espessuras acima de 1 mm poderá funcionar também como membrana impermeabilizante.

Apesar de todo o trabalho já desenvolvido e de toda a arte referenciada, quer a nível nacional como a nível internacional, verifica-se que ainda existe uma forte necessidade, não satisfeita, de uma solução interior que ofereça melhores propriedades de absorção acústica e com um processo de formulação simples que não exija custos de fabrico nem de aplicação avultados.

O presente trabalho refere-se, portanto, à formulação de uma tinta decorativa de interiores, à qual serão adicionadas partículas de pó de cortiça, que podem possuir diferentes granulometrias e ser utilizadas em diferentes proporções, com o objetivo de melhorar o seu comportamento a nível da absorção acústica (diminuição de tempo de reverberação ou eco).

Considerou-se também oportuno a aquisição das soluções acústicas atualmente comercializáveis e anteriormente descritas, para que em conjunto com a tinta em desenvolvimento, se realizem ensaios acústicos para que se possa obter resultados comparativos na determinação dos respetivos coeficientes de absorção sonora.

2.2 A cortiça na atualidade

Proveniente da casca do sobreiro (*Quercus suber* L.), a cortiça, periodicamente colhida geralmente a cada 9-12 anos, constitui um tecido vegetal 100% natural, formado por uma colmeia de células microscópicas que são preenchidas por um gás semelhante ao ar, maioritariamente revestidos por suberina e lenhina. (11)

O sobreiro (*Quercus suber* L.) é uma árvore de crescimento lento que requer uma grande quantidade de luz solar e uma invulgar combinação de baixa pluviosidade e alta humidade. (11)

É atualmente, a terceira espécie florestal portuguesa que ocupa 22,5% da área de povoamentos florestais (716.000 hectares), concentrando-se maioritariamente (73,4%) nas regiões do Alentejo Central, Alentejo Litoral, Alto Alentejo e Lezíria do Tejo. (12)

Limitado à região mediterrânica, o sobreiro tem expressão em sete países, onde ocupa cerca de 2,1 milhões de hectares, sendo Portugal o país com maior área do sobreiro – com 34% da área mundial – seguindo-se a Espanha e Marrocos. (12)

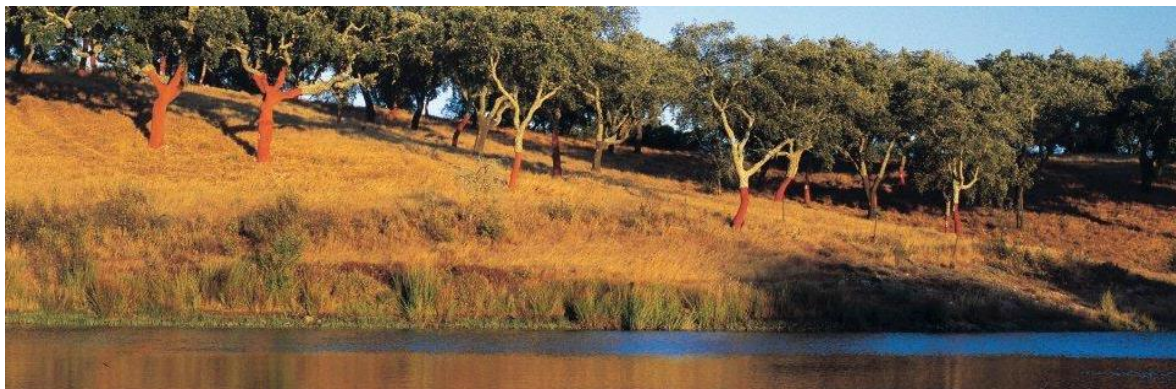


Figura 2.1 Área de povoamento florestal de sobreiros

Portugal conta com uma fileira de cortiça ímpar no panorama nacional e internacional. A sua dimensão económica, social e ambiental representa um foco de extremo interesse e potencialidade de desenvolvimento, num contexto de grande competitividade à escala global, nomeadamente pelo seu nível de exportações, pelo volume de emprego que gera e pelo seu importante papel no funcionamento económico de algumas regiões geográficas do País.

A nível individual, Portugal destaca-se como o principal produtor mundial de cortiça, com 49,6% da produção mundial (201.428 toneladas), seguindo-se a Espanha e Marrocos. (12)

O sector da cortiça assume portanto uma merecida posição de relevo.

2.2.1 A química e morfologia da cortiça

2.2.1.1 Morfologia da cortiça

A essência da cortiça é definida essencialmente pelas suas células agrupadas numa estrutura alveolar característica, preenchidas por uma mistura de gases semelhante ao ar.

O volume das suas paredes celulares é de cerca de 10-15% do seu volume total.

Num centímetro cúbico de cortiça são contabilizadas cerca de 40 milhões de células dispostas em fiadas perpendiculares ao tronco de sobreiro. Um minúsculo prisma, hexagonal constitui o formato destas células (Figura 2.2), cuja altura não ultrapassa os 40 a 50 μm . As células mais pequenas medem entre 10 a 20 μm . (13)

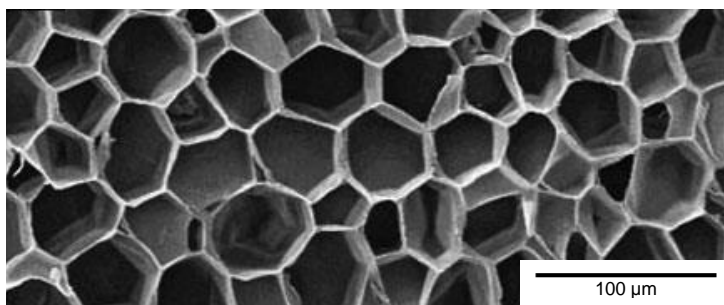


Figura 2.2 Morfologia microscópica de cortiça natural (13)

Constituída maioritariamente por células vazias que formam duas fases (as paredes celulares e o vazio), a cortiça é macroscopicamente, um material leve, resiliente, elástico, resistente ao atrito e praticamente impermeável a líquidos e gases. É um bom isolante térmico e elétrico, excelente absorvedor acústico e vibrático, inócuo e com uma extrema capacidade de ser comprimido sem expansão lateral. Para além destes aspetos, a cortiça é também praticamente imputrescível, devido à inexistência de substâncias albuminoides e à existência dos taninos e de outros compostos impermeabilizantes nas suas paredes celulares. (14)

Grande parte das notáveis propriedades da cortiça deve-se sobretudo à elevada percentagem de ar entre os compartimentos celulares e à impermeabilidade e flexibilidade das suas paredes celulares, nomeadamente a fluatuabilidade, a compressibilidade e a elasticidade, bem como a capacidade de isolamento do ponto de vista térmico, acústico e vibrático que permitem aplicações diversas de alto valor.

2.2.2 Composição química global da cortiça

A cortiça constitui uma matéria-prima totalmente natural, bastante peculiar e complexa, cuja valiosa matriz é extremamente difícil de estudar, do ponto de vista químico. (11) Quimicamente é constituída por uma diversidade de compostos, que são tradicionalmente divididos em seis grupos: suberina (45%); lenhina (27%); polissacarídeos (12%); taninos (6%); ceroides (5%) e componentes inorgânicos (5%). (15)

Cada um dos grupos de constituintes da cortiça, atrás mencionados, são em seguida analisados, quer qualitativa como quantitativamente.

2.2.2.1 Componentes Estruturais

SUBERINA (45%)

A suberina, componente maioritário da cortiça, está presente nas paredes das suas células e a ela lhe confere as suas vantajosas propriedades elásticas. A sua estrutura molecular na cortiça ainda não é totalmente conhecida, Contudo foi proposto, que se trata de um polímero misto de monómeros aromáticos e alifáticos. (16)

LENHINA (27%)

A lenhina, um polímero com uma estrutura entrecruzada, é uma macromolécula tridimensional amorfa, parcialmente aromática, de elevado peso molecular, que está associada à celulose na parede celular. Como composto isolante, a sua principal função na estrutura da cortiça é conferir-lhe rigidez, impermeabilidade e resistência a possíveis ataques microbiológicos e mecânicos.

Além dos principais constituintes macromoleculares – a suberina e a lignina – outros componentes presentes, em concentrações mais baixas, exercem igualmente uma importância influente nas propriedades químicas e físicas da cortiça.

POLISSACARÍDEOS (12%)

Os polissacarídeos, presentes nas paredes das células, ajudam a definir a textura da cortiça.

2.2.2.2 Componentes Extratáveis

TANINOS (6%)

Na fração taninosa, obtida da cortiça por extração com água ou solventes polares, os taninos são os componentes existentes em maior percentagem. (16) Estes são compostos polifenólicos presentes na cortiça e responsáveis por lhe conferir a sua cor característica.

CERÓIDES (5%)

A fração ceróide da cortiça é constituída por alcanos, alcanóis e triterpenóides. (16) Estes são compostos hidrofóbicos assegurando uma impermeabilidade singular à cortiça.

2.2.3 Propriedades peculiares da cortiça

Tipicamente, a cortiça como material poroso está associada a materiais que absorvem energia sonora a médias-altas frequências. Pensa-se que a eficácia deste tipo de materiais depende essencialmente da sua densidade e espessura. (17) A cortiça é um material celular que apresenta massas volúmicas muito variáveis, entre 120 e 300 kg/m³. (18) Esta variação estará relacionada com a dimensão das suas células, com a ondulação das paredes celulares, com a sua porosidade e sobretudo do tipo de cortiça (amadia ou virgem).

Os seus poros e pequenos interstícios comunicam entre si garantindo a permeabilidade de ondas sonoras de médias-altas frequências. Por sua vez, quando as ondas sonoras incidem entre si, o ar contido nos poros entra em movimento oscilatório (Figura 2.3), criando-se atrito sobre as paredes sólidas, havendo transformação da energia em calor, ocorrendo assim a chamada absorção sonora. (17)

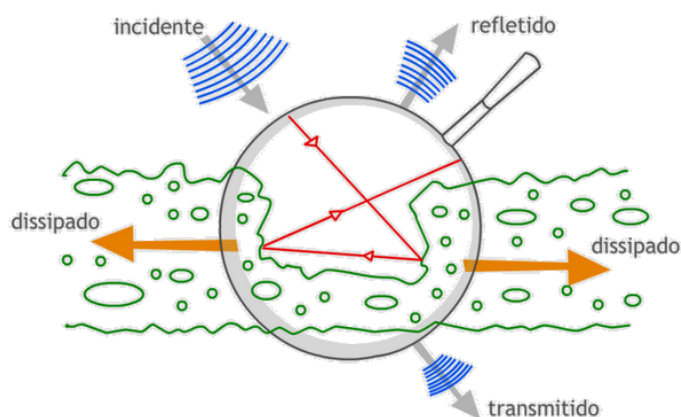


Figura 2.3 Ilustração do mecanismo de absorção sonora em materiais porosos como a cortiça (17)

2.3 Noções Gerais sobre Tintas

Considerada como uma composição química formada pela dispersão de pigmentos numa determinada solução ou emulsão de um ou mais polímeros, uma tinta, é caracterizada como uma composição pigmentada líquida, pastosa ou sólida que é normalmente aplicada sob a forma de uma fina película sólida, contínua e opaca sobre uma determinada superfície, que se transforma num revestimento que a ela é aderente, desempenhando funções de proteção, decorativas ou outras mais específicas.

A qualidade de uma tinta é distinguida pela análise da sua estabilidade, cobertura, rendimento, aplicabilidade, nivelamento, secagem, lavabilidade e da sua durabilidade, que variam de acordo com o produto.

2.3.1 Constituintes de uma tinta

O extrato seco e o veículo volátil são os dois principais grupos de componentes que constituem uma tinta. Tanto o extrato seco, composto pelos pigmentos, cargas e ligantes, como o veículo

volátil, composto pelos solventes, diluentes e aditivos, não funcionam independentemente. Estes componentes interagem quer fisicamente, quer quimicamente. (19)

2.3.1.1 Extrato seco

PIGMENTOS

Os **pigmentos** são dos componentes mais importantes numa tinta. Segundo a definição atribuída pela norma portuguesa NP-41, são substâncias sólidas, finamente divididas, que sendo praticamente insolúveis no veículo são usadas na preparação de tintas, conferindo-lhes cor e opacidade ou até mesmo outras características especiais. (20)

Com a extrema capacidade de permitir a obtenção de uma diversidade de cores, os pigmentos, são usualmente usados para modificar as propriedades óticas das tintas ou de outros produtos em que são incorporados. (21)

Por outro lado, um pigmento pode também ser utilizado para se obter certa opacidade, resultante da diferença entre os índices de refração do pigmento e do ligante, uma vez que uma tinta é na maioria dos casos utilizada para obliterar as superfícies sobre a qual é aplicada.

CARGAS

Definidas como substâncias que, sob a forma de partículas mais ou menos finas, de fraco poder de cobertura, insolúveis nos veículos, as **cargas** minerais são empregues como constituinte de uma tinta.

Estas permitem modificar determinadas propriedades de uma tinta, nomeadamente o preço, a permeabilidade da película, a resistência química, o brilho, a sedimentação, a resistência à abrasão, a viscosidade bem como o seu comportamento anticorrosivo.

A sua adição influencia a resistência ao impacto, ao empolamento e à permeabilidade ao vapor de água, podendo melhorar a adesão do filme ao substrato, assim como a resistência ao desgaste. (22)

VEÍCULO FIXO (LIGANTE)

O **veículo fixo**, também conhecido por ligante é um dos principais componentes que constitui uma tinta. É um produto orgânico complexo, responsável pela formação de uma película sólida, que agrega os vários sólidos presentes, como pigmentos e cargas, fixando-os ao substrato. Influencia também outras propriedades, nomeadamente o brilho, a durabilidade exterior, a flexibilidade e a tenacidade. (22)

2.3.1.2 Veículo volátil

SOLVENTES

Os **solventes** são compostos geralmente líquidos, à temperatura e pressão atmosférica, geralmente eliminados por evaporação na fase de secagem. São utilizados sobretudo para tornar o ligante suficientemente líquido para que a tinta seja facilmente aplicável, já que conseguem dissolver outras substâncias sem alterar as suas propriedades químicas.

Nas últimas décadas, foram feitos esforços para substituir os solventes orgânicos por alternativas mais ecológicas, como a água. Sendo assim, no caso de uma tinta aquosa, o ligante não se encontra dissolvido, mas sim disperso na fase aquosa. (22)

ADITIVOS

Na formulação de uma tinta, os componentes que entram em maior quantidade são representados por uma fração sólida, composta por pigmentos e cargas, e o veículo que compreende os polímeros e os solventes, utilizados para os solubilizar. A par destes grandes grupos de matérias-primas, uma vasta diversidade de outros produtos são utilizados, em pequenas quantidades, com vista a facilitar o fabrico, a melhorar a estabilidade da tinta na embalagem, a facilitar a sua aplicação e a resolver eventuais defeitos que possam surgir na película sólida formada na aplicação da própria tinta. Genericamente, estes produtos, são designados por **aditivos**.

Os aditivos são portanto, substâncias incorporadas, em pequena percentagem, nas tintas com fim de lhes alterar acentuadamente certas características. São usualmente agrupados pela função que cumprem e não pela composição química ou forma física de apresentação. (23)

Os aditivos podem ser classificados como agentes anti-espuma; agentes dispersantes; coalescentes; espessantes; reguladores de pH e conservantes.

2.3.2 Formulação de uma Tinta

Uma formulação estável de uma tinta pode conter cerca de 20 constituintes diferentes que interagem uns com os outros embora se comportem independentemente.

O processo de formulação de uma tinta é extremamente complexo e envolve uma matriz de compromissos, que irá determinar as características e o desempenho final do produto. Dessa forma, antes de se iniciar qualquer formulação de uma tinta é necessário ter conhecimento do desempenho pretendido para o revestimento, nomeadamente o grau de proteção ou de decoração, a espessura do filme recomendada, bem como o substrato onde irá ser aplicada.

O processo de formulação considera, essencialmente, o aspeto de um filme seco com as propriedades requeridas.

Para o filme seco é fundamental o conhecimento da relação da concentração em volume de pigmentos (PVC), visto estar intimamente ligada ao facto do desempenho da tinta ser dependente do volume que é aplicado na parede.

O PVC é o quociente entre o volume de pigmentos e cargas e o volume de pigmentos, de cargas e ligante (Equação 1) (24):

Equação 1

$$\%PVC = \frac{volume_{pigmento} + volume_{cargas}}{volume_{pigmentos} + volume_{cargas} + volume_{ligante}} \times 100$$

Numa outra abordagem, a concentração de pigmentos em volume crítica (CPVC) é atingida quando uma composição contém apenas a quantidade mínima de ligante necessária para

‘molhar’ as cargas que compõe a formulação e preencher todos os interstícios até à formação de um filme contínuo. Neste ponto, uma redução de ligante irá resultar numa cobertura de partículas incompleta provocando alterações significativas nas propriedades do filme.

A posição do PVC crítico é portanto determinada pela natureza química e pelo tamanho das partículas do ligante, por um lado, e, por outro, pelos pigmentos e cargas usados na formulação da tinta. (24)

2.4 Noções Gerais sobre Acústica

2.4.1 Absorção Sonora

Segundo a Norma Portuguesa NP 3225/1, a **absorção sonora** define-se como uma redução da potência sonora por dissipação, resultante da propagação do som nesse meio. (25) Quer isto dizer que a absorção minimiza a reflexão das ondas sonoras num meio com a diminuição do nível de reverberação. É portanto, cada vez mais, um parâmetro indicador de conforto e de qualidade acústica nas construções contemporâneas. Esta dissipação da energia sonora pode, por sua vez, ser caracterizada pelo **coeficiente de absorção sonora**.

2.4.1.1 Coeficiente de absorção sonora

O **coeficiente de absorção sonora** (α) é uma medida da eficiência da superfície de um material na absorção do som. É um parâmetro que varia com a frequência e com o ângulo de incidência do raio sonoro do material e corresponde à relação entre a quantidade de energia que é absorvida pelo material e aquela que sobre ele incide (Equação 2). Varia entre 0 e 1 e depende essencialmente da natureza das superfícies, do ângulo de incidência e da forma como é aplicado. (26)

Equação 2

$$\alpha = \frac{I_a}{I_i}$$

Onde,

I_a – intensidade sonora absorvida (W/m^2)

I_i – intensidade sonora incidente (W/m^2)

Para a determinação do coeficiente de absorção sonora são praticadas diversas metodologias, sendo o método da câmara reverberante um método mais fiável e rigoroso. O método, detalhadamente descrito pela norma NP EN ISO 354:2007, consiste na determinação do coeficiente de absorção sonora do provete, onde a amostra é aplicada, através da diferença do tempo de reverberação calculado antes e após a sua colocação, no laboratório de ensaios. Por sua vez, o **tempo de reverberação** (T_R), é por definição o período que um nível de pressão sonora demora a decair cerca de 60 dB, do momento em que a fonte de emissão sonora cessa de emitir. Corresponde portanto, ao intervalo de tempo, em segundos, que um som demora a extinguir-se por completo após múltiplas reflexões.

A determinação de outros parâmetros para a classificação de materiais absorventes é possível a partir do coeficiente de absorção sonora. O **coeficiente de redução do ruído** (NRC) e o **coeficiente de absorção sonora ponderado** (α_w) são dois desses parâmetros.

Como uma medida da eficiência média de absorção sonora, o **coeficiente de redução do ruído** (NRC) é um parâmetro calculado pela norma ASTM C423 que resulta da média aritmética do coeficiente de absorção sonora (α) medido nas frequências de 250, 500, 1000 e 2000 Hz, aproximado a múltiplos de 0,05. A forma de cálculo deste parâmetro é indicada pela Equação 3.

$$NRC = \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}}{4}$$

Equação 3

3

DESCRIÇÃO TÉCNICA

Neste capítulo descrevem-se os materiais e métodos utilizados durante a dissertação para a formulação especialmente adequada para uma utilização como material decorativo e ao mesmo tempo como isolante acústico. Inclui-se também no capítulo a caracterização dos procedimentos experimentais praticados.

3.1 Materiais

3.1.1 Tinta Acústica *KAR*

A tinta acústica fabricada pelas Tintas KAR, Lda foi especialmente estudada para aplicações em superfícies isolantes de ruído com objetivo de evitar o 'eco'. As suas características técnicas são apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Características técnicas da tinta acústica (9)

Composição	<i>Ligante</i> – copolímero de um éster acrílico em emulsão <i>Pigmentos</i> – orgânicos e inorgânicos <i>Solvente</i> – água Com substâncias isolantes sonoras e térmicas
Cor	Branca
Aspeto	Mate
Densidade (a 20°C)	1,60 ± 0,15 Kg/dm ³
Viscosidade (a 20°C)	136 – 141 KU em <i>Stormer</i>
Teor de sólidos (em peso)	Aprox. 70%

3.1.2 Tinta Acousti-coat da Hy-Tech Thermal Solutions

As características físico-químicas, cedidas pelo fornecedor, são apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Características técnicas da tinta Acousti-coat (8)

Composição	<i>Ligante</i> – Propilenoglicol (propano-1,2-diol) <i>Solvente</i> – água Com partículas cerâmicas como isolantes sonoros
Cor	Branca
Aspeto	Líquido altamente tixotrópico
Cheiro	Leve odor a amónia
Densidade (a 25°C)	1,20 ± 0,10 g/cm ³
Teor de sólidos (em peso)	Aprox. 55%

3.1.3 Granulado de cortiça

As especificações técnicas do granulado de cortiça, fornecido pela ACC, são apresentadas nas seguintes tabelas.

Tabela 3.3 Especificações técnicas do granulado de cortiça C8

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICAÇÃO		NORMA
Massa volúmica (Kg/m³)	75 – 95		ISO 2031
Distribuição Granulométrica (% de retenção)	Crivos ASTM		ISO 2030
	(mesh)	(mm)	
	60	0,250	
	70	0,212	
	100	0,150	
	140	0,106	
	230	0,063	
	Fundo		
		% Retidos	
		0	
		0	
		0	
		0 – 5	
		50 – 70	
		30 – 60	

Tabela 3.4 Especificações técnicas do granulado de cortiça C9

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICAÇÃO		NORMA
Massa volúmica (Kg/m³)	75 – 95		ISO 2031
Distribuição Granulométrica (% de retenção)	Crivos ASTM		ISO 2030
	(mesh)	(mm)	
	60	0,250	
	70	0,212	
	100	0,150	
	140	0,106	
	230	0,063	
	Fundo		
		% Retidos	
		Máx. 5	
		Máx. 90	
		Máx. 10	

Tabela 3.5 Especificações técnicas do granulado de cortiça C2

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICAÇÃO		NORMA
Massa volúmica (Kg/m³)	55 – 70		ISO 2031
	Crivos ASTM		
Distribuição Granulométrica	(mesh)	(mm)	% Retidos
(% de retenção)	40	0,425	Máx. 5
	80	0,180	Máx. 90
	Fundo		Máx. 10
			ISO 2030

Tabela 3.6 Especificações técnicas do granulado de cortiça C7

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICAÇÃO		NORMA	
Massa volúmica (Kg/m³)	75 – 95		ISO 2031	
Distribuição Granulométrica (% de retenção)	Crivos ASTM		ISO 2030	
	(mesh)	(mm)		% Retidos
	30	0,600		0 – 5
	35	0,500		0 – 15
	40	0,425		10 – 30
	50	0,300		20 – 60
	70	0,212		10 – 40
	Fundo	0 – 20		

Tabela 3.7 Especificações técnicas do granulado de cortiça C5

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICAÇÃO		NORMA
Massa volúmica (Kg/m³)	50 – 70		ISO 2031
Distribuição Granulométrica (% de retenção)	Crivos ASTM		ISO 2030
		% Retidos	
	(mesh)	(mm)	
	30	0,600	
	35	0,500	
	50	0,300	
	60	0,250	
	70	0,212	
	Fundo	0 – 10	

3.1.4 Óleo de linhaça bruto

As características físico-químicas do óleo, cedidas pelo fornecedor, são apresentadas na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 Especificações do óleo de linhaça bruto ALBERDINGK®

Valor ácido	Resina de base aquosa (de acordo com DIN EN ISO 2114)
Valor de saponificação	188 – 195 mgKOH/g
Densidade	0,926 – 0,933 g/cm ³ (de acordo com DIN EN ISO 2811-1)

3.2 Métodos

3.2.1 Medição da distribuição granulométrica do granulado de cortiça

Uma das características que pode influenciar a acústica é o tamanho das partículas que possam ser incorporadas numa tinta. Dessa forma, para que se consiga uma homogeneização perfeita, as partículas na película seca devem estar completamente dispersas.

Uma das propriedades físicas mais importantes de amostras de particulados é o tamanho da partícula. A medição da sua distribuição é também um parâmetro crítico na formulação de tintas, uma vez que influencia diretamente o seu aspeto, a sua densidade, o seu manuseio e sobretudo, a estabilidade das partículas em suspensão.

O granulado de cortiça natural fornecido pela ACC é especificado em cinco categorias (C8, C9, C2, C7 e C5), consoante o tamanho de grão de cada amostra. Contudo a sua distribuição granulométrica, por peneiro mecânico (em % de retenção), fornece uma informação pouco precisa, pelo que foi necessário uma análise com maior detalhe da distribuição dos tamanhos das partículas, para um melhor entendimento de como ela poderá afetar a formulação de uma tinta acústica. Em consequência disso, foi efetuado um ensaio de distribuição granulométrica, de todas as amostras fornecidas de granulado de cortiça, nas instalações da empresa Omya S.A., através do equipamento *Mastersizer* da *Malvern Instruments*.

3.2.2 Teste de absorção de óleo ao granulado de cortiça

É um teste preliminar aplicado a pigmentos que são, por sua vez, misturados em óleo de linhaça até à obtenção de uma pasta. Quantitativamente, o teste dá a perceber qual a quantidade de óleo necessária para a obtenção de uma pasta de pigmento consistente. Teoricamente, sabe-se que qualquer pigmento com um elevado índice de absorção de óleo, necessitará de maior quantidade de ligante para ser possível molhá-lo.

Neste caso e de forma a avaliar o comportamento do granulado de cortiça quando este é adicionado ao ligante, o teste de absorção de óleo foi realizado com a adição de granulado de cortiça em vez do usual pigmento. Assim, este método permite medir a quantidade de óleo de linhaça refinado necessário para molhar 100g do pó de cortiça.

O dispositivo necessário para o teste inclui o óleo de linhaça cru; uma placa de vidro; uma bureta graduada em 0,1 mL; uma espátula rígida e uma balança.

Uma quantidade previamente medida de pó de cortiça é transferida para uma placa de vidro. Por sua vez, o óleo é adicionado, gota a gota, permitindo a formação de uma mistura por espatulação, entre adições, até à obtenção de uma pasta consistente e homogênea. A pasta está homogênea no momento em que apresenta um aspeto de borracha, sem fissuras quando é estendida sem esforço sob a placa.

Na Figura 3.4, verifica-se o aspeto da pasta nas diferentes condições. A superfície de cada partícula é humedecida em óleo. Por sua vez, a quantia de óleo requerida depende da área específica do granulado, isto é, do tamanho, da rugosidade e da porosidade da superfície de cada partícula.



Figura 3.4 Método para a determinação da absorção de óleo (36)

3.2.3 Desenvolvimento da formulação e fabrico da tinta

As tintas decorativas de base aquosa, são formuladas a partir de polímeros em emulsão, pigmentos, cargas, aditivos e água. A estratégia mais adequada para assegurar a dispersão das partículas de cortiça, quer durante o fabrico, armazenagem e secagem da película de tinta poderá estar ligada ao conhecimento do PVC (concentração de pigmento em volume) da tinta que se pretende formular. É de conhecimento que para tintas com baixo PVC as partículas de cortiça, supostamente bem dispersas, estarão relativamente separadas. Dessa forma e uma vez obtida a formulação pretendida, procede-se ao fabrico da tinta. A composição da tinta base formulada é um compromisso dos seguintes componentes nas quantidades aproximadas indicadas na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 Composição da tinta 'base' formulada

Resina Acrílica	44 %
Solventes	20 %
Pigmento	16 %
Cargas Minerais	15 %
Aditivos	5 %

Na formulação da tinta, os aditivos com as suas características específicas, os pigmentos, as cargas, os veículos (resina acrílica) e os solventes foram dispostos segundo uma ordem

precisa, sendo por isso imprescindível a respeitar no decurso do seu fabrico. Para tal, sob agitação a baixa velocidade, começou-se por juntar o veículo, o solvente (água) e os aditivos molhantes e dispersantes. Juntou-se em seguida os pigmentos e as cargas a uma velocidade suficiente a uma perfeita molhagem dos pigmentos. Após a adição completa de todos os componentes da formulação, aumentou-se a velocidade até à formação de um *vortex* ideal a uma dispersão completa. Após a obtenção da finura de dispersão desejada adicionou-se, pela ordem indicada na formulação, uma quantidade suplementar do veículo e do solvente para estabilizar a dispersão e impedir a formação de novos agregados de partículas.

Por último, a cortiça foi incorporada, preferencialmente sob a forma de pó, entre 1 e 5% (p/g) à sua composição. A quantidade de cortiça adicionada, em todas as amostras de tinta apresenta-se em percentagem de cortiça por gramagem (p/g). O processo de dispersão da cortiça na tinta é um processo moroso. A adição foi feita de forma lenta e gradual para que a tinta tivesse tempo de envolver e dispersar todas as partículas sólidas. O material orgânico foi introduzido sobre o *vortex* do eixo de rotação do dispersor com o auxílio de uma espátula, de forma a evitar a formação de ar e de grânulos de cortiça nas paredes do recipiente de mistura.

Os agentes tensioativos tiveram um contributo fulcral no desenvolvimento da formulação ao facilitar a molhabilidade da cortiça com a redução da tensão superficial que se gera em volta das partículas. (27) A incorporação das várias granulometrias de pó de cortiça (C8; C9; C2; C5 e C7) teve como objetivo observar a reação da tinta com a adição desta carga orgânica isolante.

3.2.4 Caracterização das tintas desenvolvidas

Após a produção da tinta esta foi submetida a vários testes com o objetivo de determinar as suas propriedades, para uma avaliação do seu desempenho.

Os métodos de ensaio que a seguir se descrevem foram desenvolvidos pela *Barbot*, através da adaptação de normas já existentes, e são de aplicação corrente no seu Laboratório I&D.

De modo a avaliar as propriedades das soluções acústicas desenvolvidas determinou-se o seu teor em sólidos e o comportamento reológico, através da medição da viscosidade *Stormer*, viscosidade *Brookfield*, viscosidade ICI – Cone & Placa, pH e densidade. Aplicando as diferentes tintas sobre cartas de contraste, foi também determinada a brancura, opacidade e brilho.

3.2.4.1 Determinação das viscosidades *Stormer*, *Brookfield* e ICI

Todas estas técnicas permitem a caracterização reológica das amostras a analisar. O **viscosímetro de *Stormer*** Automático, um viscosímetro de cilindros concêntricos, permite calcular a viscosidade correspondente do líquido. Por sua vez, a **viscosidade de *Brookfield*** é determinada num viscosímetro de *Brookfield* e corresponde à viscosidade dinâmica do líquido, sendo aplicável para valores de viscosidade até 60000 Pa.s.

O **viscosímetro ICI** foi desenhado com o conhecimento de que as tintas são normalmente pseudoplásticas e que a aplicação quer seja feita por rolo ou pincel tem lugar a elevadas tensões de corte.

3.2.4.2 Determinação da densidade

A densidade da tinta é determinada através de picnómetro de aço inoxidável de volume conhecido.

3.2.4.3 Determinação do pH

Um pH adequado (superior a 8,0) é fundamental para garantir a atuação da emulsão dos agentes dispersantes e dos espessantes.

A determinação do pH é efetuada através de um aparelho comum de medição de pH (*Microprocessor pH Meter – HANNA Instruments®*).

3.2.4.4 Determinação do teor de sólidos em peso

Para a determinação do teor de sólidos da formulação em análise, utilizou-se o equipamento *Mettler HB43*.

3.2.4.5 Determinação da brancura, opacidade e brilho

Sobre carta de contraste, cada tinta foi aplicada com aplicador de 250 µm. Após a aplicação as amostras devem ser secas. Utilizando-se o espectrofotómetro *Spectraflash SF 600* com o software *Chromacalc*, determinou-se a brancura e opacidade, respetivas.

A medição do brilho de cada tinta aplicada sobre a carta de contraste é lida através do brilhômetro *Microtrigloss – BYK®*.

3.2.4.6 Análise da estabilidade

Uma pequena amostra é submetida a um controlo de estabilidade numa estufa a 50°C durante um período de 28 dias. A viscosidade no *Stormer* é analisada nas 24 horas seguintes e posteriormente nos 7, 14 e 28 dias após a inserção da amostra na estufa.

3.2.5 Análise da distribuição granulométrica das tintas formuladas

Com a incorporação do pó de cortiça na tinta percebeu-se que a granulometria do pó de cortiça não é totalmente uniforme. Assim efetuaram-se vários ensaios no granulómetro (*LS Particle Size Analyzer* da *Coulter*) que emprega a técnica complementar de PIDS (*polarization intensive differential scattering*) do Laboratório de Apoio às Técnicas Laboratoriais do Departamento de Engenharia Química da FEUP para uma melhor perceção da distribuição granulométrica das amostras resultantes. Foram também determinadas as curvas de distribuição granulométrica para as tintas atualmente comercializadas (Tinta acústica da KAR e Tinta *Acousti-coat* da *Hy-Tech*). A análise granulométrica consistiu na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras e no tratamento estatístico dessa informação.

3.2.6 Análise da exsudação de taninos na cortiça

Uma das maiores problemáticas que têm surgido em trabalhos já desenvolvidos, até mesmo em outros âmbitos, é a tonalidade amarelada que a cortiça confere em soluções aquosas. O principal entrave relaciona-se com a presença de compostos fenólicos e polifenólicos na cortiça que quando em contacto com qualquer solução aquosa solubilizam, conferindo-lhe uma cor característica. Na tentativa de se contornar este problema foram realizados dois ensaios diferentes, nomeadamente a resistência das tintas com cortiça incorporada à água e o método de 'lavagem' do pó de cortiça para posterior incorporação na tinta 'base'.

3.2.6.1 Resistência do revestimento à água

Para conhecimento do comportamento das soluções acústicas em desenvolvimento quando aplicadas sob um determinado substrato, determinou-se a resistência das várias tintas à água. A metodologia consiste em sobrepor um vidro de relógio com água sobre uma superfície de gesso cartonado revestido pela tinta acústica, num período de 72 horas, com o objetivo de se determinar a interação dos diferentes componentes da cortiça incorporada na tinta quando em contacto com a água.

3.2.6.2 Metodologia para a 'lavagem' do pó de cortiça

O método consiste em colocar o pó de cortiça em água a 70°C, na proporção de 1:3, durante aproximadamente 2 horas. Em seguida, o granulado deverá ser escorrido e espremido e colocado novamente em água a 70°C, na mesma proporção de 1:3, durante duas horas. Após este procedimento, o granulado deverá ser de novo escorrido e espremido para posteriormente passar para a estufa até atingir uma humidade inferior a 5%. Este método permite a remoção de grande parte dos compostos responsáveis pela coloração amarelada característica da cortiça. Incorporando o pó de cortiça 'lavado' na tinta 'base', este ensaio teve como objetivo verificar a tendência da aproximação da cor ao branco.

3.2.7 Requisitos e especificações dos ensaios acústicos

Nesta secção são explicados os preparativos e o método de ensaio para a medição da absorção sonora de superfícies, com base na aplicação da norma atualmente em vigor, NP EN 354:2007, referente à "Medição da absorção sonora em câmara reverberante".

3.2.7.1 Preparação dos provetes de ensaio

Reunidos todos os materiais e condições para a realização dos ensaios acústicos, procedeu-se à aplicação das diferentes soluções acústicas, sob placas de gesso cartonado.

Em seguida são referenciados os provetes submetidos a ensaio acústico.

- Proвете em gesso cartonado revestido com **2 demão** da **"tinta base"** (p0)
- Proвете em gesso cartonado revestido com **2 demão** da **tinta acústica KAR** (p1)
- Proвете em gesso cartonado revestido com **2 demãos** de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 (p/g)** (p2)

- Provete em gesso cartonado revestido com **3 demãos** de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 (p/g)** (p3)
- Provete em gesso cartonado revestido com **2 demãos** de tinta com **5% de mistura pó de cortiça C8 e C9 (p/g)** e **1% de granulado de cortiça C2 (p/g)** (p4)
- Provete em gesso cartonado revestido com **3 demãos** de tinta com **5% de mistura pó de cortiça C8 e C9 (p/g)** e **1% de granulado de cortiça C2 (p/g)** (p5)

Na Tabela 3.10 são apresentados os rendimentos de cada tinta aplicada nos provetes de ensaio.

Tabela 3.10 Rendimento de cada tinta aplicada nos provetes de ensaio

APLICAÇÕES A ROLO	RENDIMENTO DA TINTA
P0	4,8 m ² /L
P1	1,92 m ² /L
P2	3,20 m ² /L
P3	2,40 m ² /L
P4	2,40 m ² /L
P5	1,92 m ² /L

As tintas submetidas a ensaio acústico acima referenciadas foram selecionadas, entre as restantes, com base na capacidade de aceitação da carga orgânica (partículas de cortiça) da tinta da sua estabilidade e aplicabilidade.

3.2.7.2 Determinação laboratorial da absorção sonora

De acordo com as instruções contidas no Anexo B da norma NP EN ISO 354:2007 (28), os provetes, para determinação laboratorial da absorção sonora, deverão ser instalados sobre o pavimento da câmara reverberante, devendo ocupar uma área retangular compreendida entre 10 e 12 m².

As tintas a caracterizar deverão ser aplicadas sobre uma superfície rígida correspondente, que neste caso serão painéis em gesso cartonado com 10 mm de espessura e uma área total de aproximadamente 10 m², como solicitado pela norma.

Segundo esta norma, em vigor, o volume da câmara reverberante deverá ter um volume de pelo menos 150 m³. Por outro lado, para volumes superiores a 500 m³, poderá não ser possível a medição rigorosa da absorção sonora para frequências altas, devido à absorção causada pelo ar.

Na determinação laboratorial da absorção sonora, realizada entre os dias 18 e 19 de Junho de 2014, utilizou-se a câmara reverberante R1 (com 204 m³ de área) do Laboratório de Acústica do Departamento de Engenharia Civil da FEUP. A câmara reverberante (R1) é um espaço totalmente isolado do exterior e inclui difusores suspensos no seu interior, para que as reflexões sonoras se distribuam o mais uniforme possível no seu interior, além disso as

superfícies da câmara são desviadas do paralelismo de forma a evitar a reflexão consecutiva das ondas nas suas paredes (ecos repetidos – *flutter echoes*). (26)

Segundo a norma (25), as condições de ensaio são verificadas e apresentam-se na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 Condições de ensaio em câmara reverberante R1

Humidade Relativa (%)	30 – 90%	63,7%	64,0%
Temperatura (°C)	$\geq 15^{\circ}\text{C}$	23,4°C	22,4°C
$L_{\text{máx.}}$ (m)	$< 1,9 \times V^{1/3}$		
(Comprimento da maior linha reta contida nos limites da câmara)	(V – Volume da câmara reverberante vazia (m^3))	~ 7m	

Os provetes de ensaio, constituintes por 4 painéis (com $9,6 \text{ m}^2$ de área total), foram colocados sobre o pavimento numa posição central da câmara, como mostra a Figura 3.5.

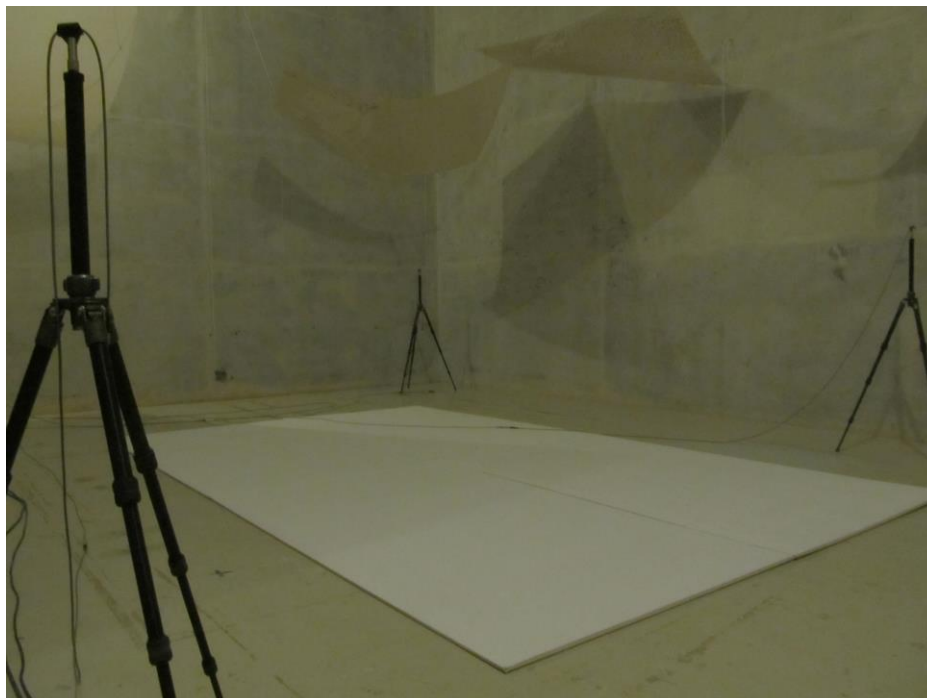


Figura 3.5 Disposição dos provetes de ensaio sobre o pavimento da câmara reverberante R1
[fotografia do autor]

Para se gerar um campo sonoro suficientemente difuso no interior da câmara, mediu-se o tempo de reverberação para duas posições dos emissores e recetores sonoros, em que cada uma dessas posições corresponde à média de três medições. O sinal sonoro foi produzido a partir de duas fontes sonoras semiomnidirecionais, colocadas estrategicamente com um afastamento superior 3 m de distância e direcionadas em diferentes posições. Estas atuam em simultâneo através da projeção do ruído na direção contrária à parede.

Os equipamentos utilizados nos ensaios foram:

- Sistema de aquisição de dados *Brüel & Kjaer PULSE* – Tipo 3560-D;
- *Software* de aquisição e tratamento de dados *Brüel & Kjaer PULSE v. X*;

- Amplificador *LABGRUPPEN LAB300*;
- Calibrador *Brüel & Kjaer* – Tipo 4226;
- Termo-Higrómetro *Wm HTA 4200*;
- 2 Fontes sonoras semiomnidirecionais *JBL EON 15-62*;
- Microfones *Brüel & Kjaer ½"* – Tipo 4190.

Para cada ensaio, o equipamento *PULSE* da *Brüel & Kjaer* com o software *LabShop 10.1*, permitiu gerar as curvas de decaimento, determinar os tempos de reverberação e os respectivos valores médios.

4

ENSAIOS E RESULTADOS

Na tentativa de se desenvolver uma solução com um bom desempenho de absorção acústica na correção acústica do interior de construções e como uma tinta só por si não é um material absorvente sonoro, foi formulada uma tinta 'base' à qual foi incorporada cortiça, um material poroso e fibroso com propriedades acústicas já reconhecidas.

Algumas das preocupações que surgiram previamente ao desenvolvimento da formulação 'base', centraram-se na recolha de possíveis problemáticas que poderiam surgir ao longo do trabalho, sobretudo devido às características peculiares da carga orgânica em uso.

O tamanho das partículas de cortiça incorporadas numa tinta é, sem dúvida, uma das propriedades físicas mais importantes na sua formulação. Influencia diretamente o aspeto, a densidade, a estabilidade das partículas em suspensão e sobretudo, o desempenho acústico deste tipo de produtos. Dessa forma, para uma análise mais detalhada da distribuição do tamanho das partículas e para um melhor conhecimento de como ela poderia afetar a formulação da tinta acústica efetuou-se um ensaio de distribuição granulométrica de todos os tipos granulado de cortiça fornecido pela ACC, através do equipamento *Mastersizer* da *Malvern Instruments*®. Os resultados da análise são apresentados na Tabela 4.12 e sob forma de representações gráficas na Figura 4.6; Figura 4.7; Figura 4.8; Figura 4.9 e Figura 4.10.

Tabela 4.12 Resultados da análise à distribuição granulométrica no *Mastersizer*

	C9	C8	C2	C7	C5
Diâmetro médio da partícula DV ₅₀	45,8 µm	46,2 µm	228 µm	389 µm	408 µm
Área Específica de Superfície	256,9 m ² /Kg	254,2 m ² /Kg	72,30 m ² /Kg	25,56 m ² /Kg	35,46 m ² /Kg

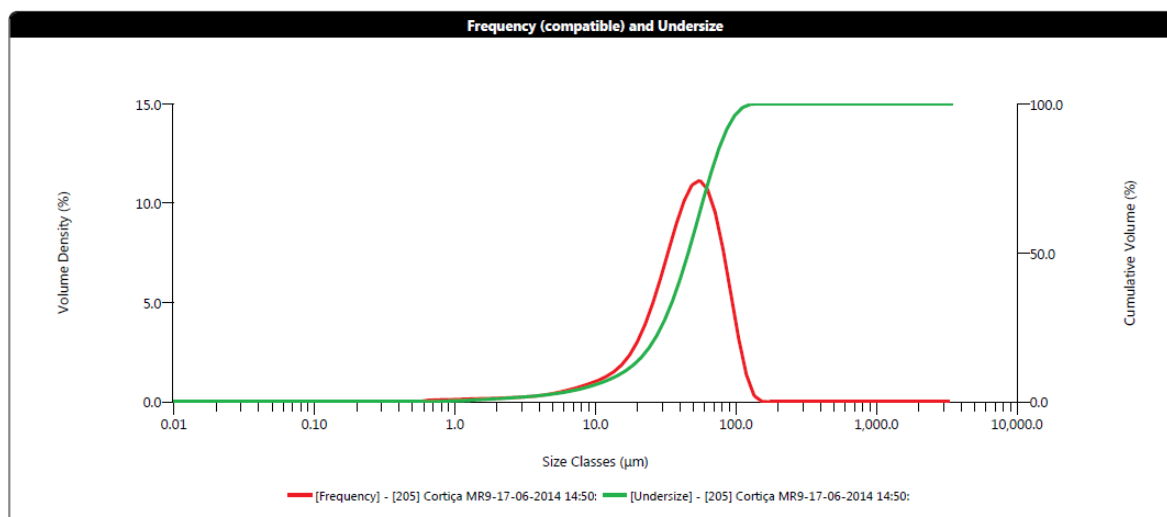


Figura 4.6 Distribuição granulométrica da amostra de pó de cortiça natural C9

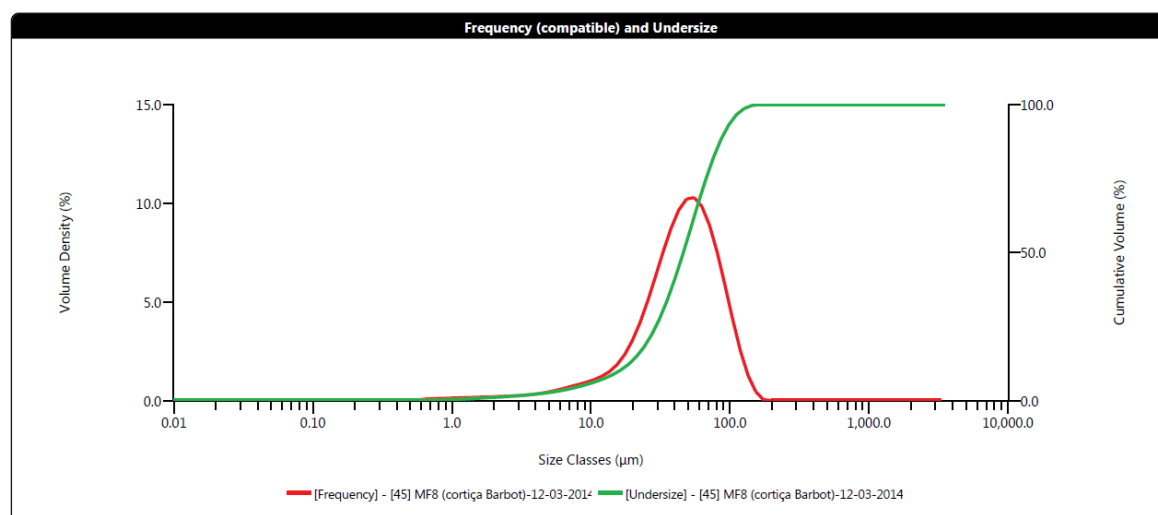


Figura 4.7 Distribuição granulométrica da amostra de pó de cortiça natural C8

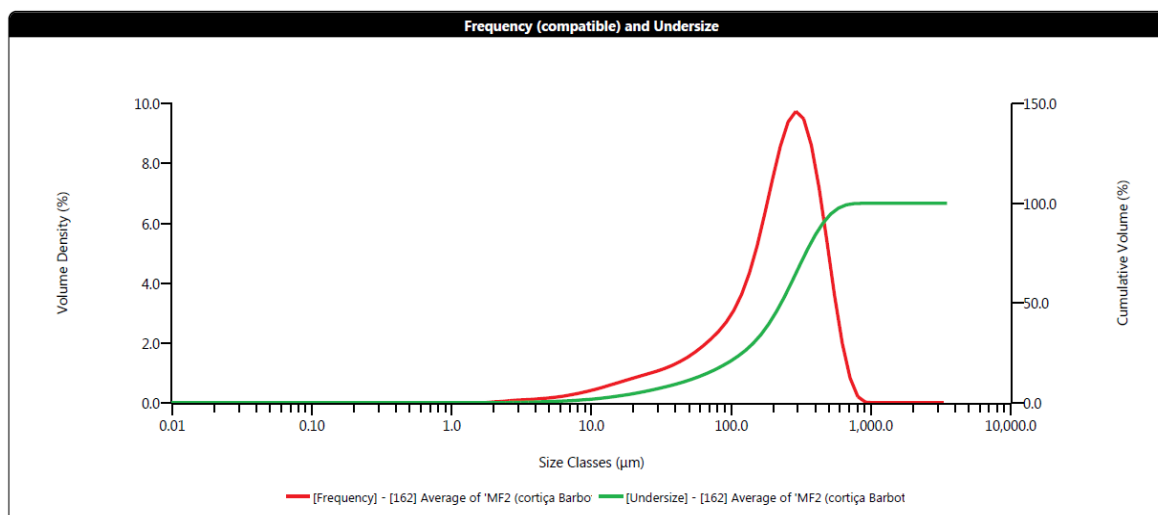


Figura 4.8 Distribuição granulométrica da amostra de granulado de cortiça natural C2

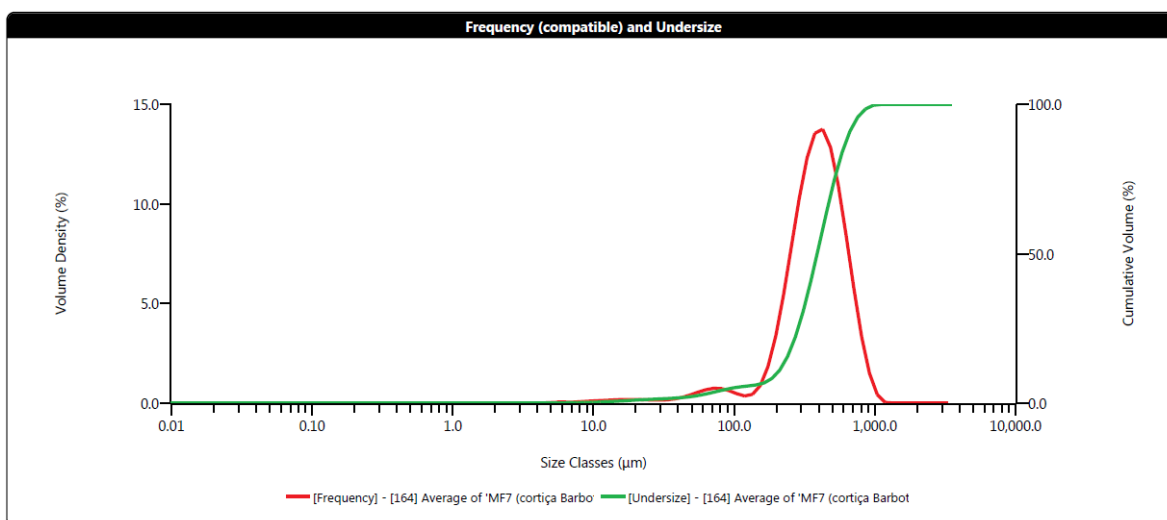


Figura 4.9 Distribuição granulométrica da amostra de granulado de cortiça natural C7

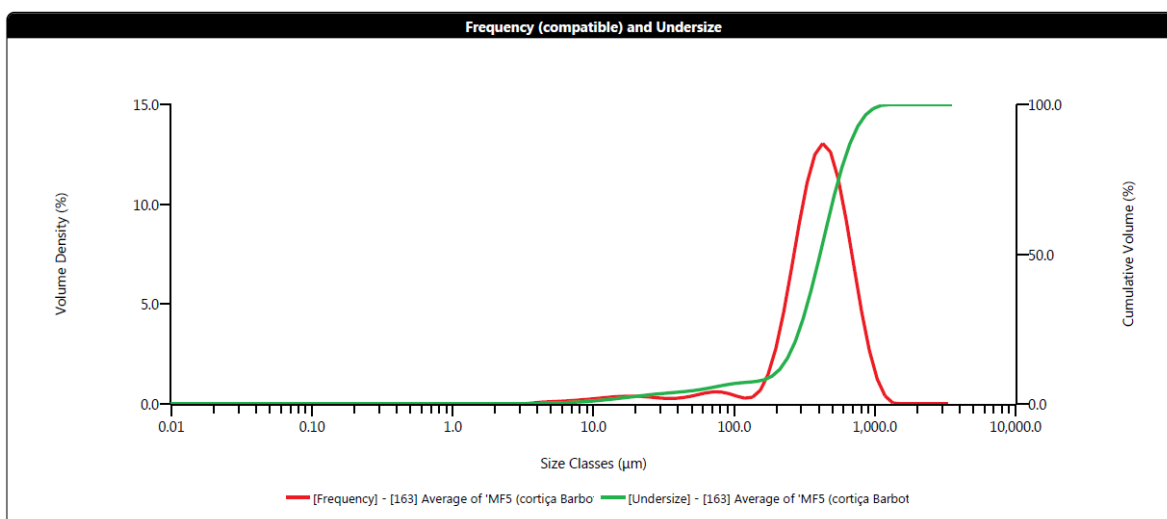


Figura 4.10 Distribuição granulométrica da amostra de granulado de cortiça natural C5

Ainda diretamente relacionado com o tamanho das partículas e conscientes de que para uma homogeneização perfeita, os particulados, na película seca, devem estar completamente dispersos, avaliou-se o comportamento desta carga orgânica no momento em que é adicionada a um determinado ligante, através do método do teste de absorção de óleo habitualmente aplicado a pigmentos. Os resultados do teste de absorção de óleo aos vários tipos de granulados apresentam-se na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 Resultados do teste de absorção de óleo ao granulado de cortiça

	C9	C8	C2	C7	C5
Teor de absorção de óleo					
(g de óleo/100g de cortiça)	299	307	496	248	512

Teoricamente, sabe-se que o teor de absorção de óleo é tanto maior quanto maior for a área de superfície específica de cada partícula, ou seja, quanto mais pequenas forem as partículas e também quanto maior for a sua porosidade. O teor de absorção de óleo é, também, tanto maior quanto mais estreita for a curva de distribuição granulométrica das partículas; isto significa que os espaços vazios ocupam maior fração do volume total, pois a compactação das partículas é menos conseguida. Comparando ambas as análises, quer na distribuição granulométrica no *Mastersize* quer no teste de absorção ao óleo, não se consegue estabelecer estas relações concebidas pela teoria. Apenas se conclui que quanto mais elevado o índice de absorção de óleo maior quantidade de ligante necessária para que seja possível dispersar a carga na formulação desenvolvida.

Com base em todas as considerações tomadas anteriormente, foram desenvolvidas a partir da mesma tinta 'base', uma tinta acrílica de base aquosa de médio PVC, várias soluções acústicas.

A cortiça foi incorporada entre 1 e 5% (p/g) à sua composição base. A dispersão da cortiça na tinta 'base' tornou-se difícil, verificando-se uma certa tendência a formar aglomerados e bolhas de ar devido à baixa densidade e reduzida molhabilidade característica deste material.

Com a incorporação da cortiça na tinta 'base' verificou-se que a sua granulometria não era totalmente uniforme, dessa forma, a análise granulométrica no granulómetro *LS Particle Size Analyzer* da *Coulter* consistiu na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras desenvolvidas. Após o tratamento estatístico dessa informação, verificou-se que as curvas de distribuição, para as diferentes amostras desenvolvidas com variações na percentagem de cortiça incorporada, não mostraram concordância com os resultados que se esperava (Anexo III). Tal facto poderá estar associado à diluição realizada durante o procedimento de leitura no granulómetro. Em cada análise uma pequena porção da amostra foi diluída em água desionizada e devido às propriedades peculiares da cortiça as partículas ficaram em suspensão na solução comprometendo assim a correta leitura do tamanho das partículas.

Para uma melhor avaliação do desempenho de cada solução acústica, foram aplicados diferentes métodos de caracterização desenvolvidos pela *Barbot*, através da adaptação de normas já existentes, de aplicação corrente no seu Laboratório I&D.

Na tabela do Anexo I são apresentados os valores do teor em sólidos, as viscosidades determinadas no *Stormer*, *Brookfield* e ICI, a densidade, os valores da brancura, opacidade e brilho bem como a leitura das viscosidades no controlo da estabilidade, correspondentes a cada amostra.

Numa primeira fase do trabalho desenvolvido, os resultados obtidos não foram totalmente satisfatórios especialmente nas amostras com a incorporação de cortiça de maior granulometria (C5 e C7). A viscosidade da tinta ficou altamente comprometida, perdendo por isso as suas características comuns passando a apresentar um aspeto mais similar a uma

pasta. Particularmente, nesta situação, as amostras tornaram-se muito secativas, dificultando a sua aplicação no substrato.

Com o objetivo de corrigir certas dificuldades que surgiram na primeira fase do projeto, foram feitos alguns ajustes na formulação 'base' que deu origem à composição das soluções acústicas. A remoção de uma carga mineral de mica na constituição da formulação base foi uma dessas alterações empregues no trabalho. A mica é um mineral de constituição inorgânica, quimicamente inerte que com uma estrutura lamelar permite melhoras na resistência da película à humidade e à fissuração quando exposta à intempérie. Como conferia características pouco relevantes ao revestimento em desenvolvimento foi removida e dessa forma permitiu dar uma maior disponibilidade à resina para a incorporação de uma maior quantidade de cortiça, como é verificado pelo valor recalculado para o PVC e PVC crítico (Tabela 4.14).

Tabela 4.14 Propriedades das formulações 'base' (comparativo)

	Formulação base (1ª fase)	Formulação base (reformulada)
Densidade (g/l)	1,36	1,29
% PVC	43,0	33,7
% PVC crítico	47,8	59,6
% PVC TiO₂	11,9	13,8
Teor sólidos (em peso)	56,5	51,6
VOC'S (g/l)	34,8	36,8
Qt. Pigmento/ Qt. Ligante	2,1	1,6
% TiO₂ em peso	14,1	15,7
Teor Sólidos (em volume)	40,7	37,3
Densidade Película Seca (g/l)	1,88	1,78

Após a reformulação da composição 'base' da tinta padrão, a cortiça foi incorporada, novamente e preferencialmente sob a forma de pó, entre 1 a 5% (p/g). Nesta fase, a cortiça incorporada foi selecionada de acordo com a sua menor granulometria, entre as gamas C8, C9 e C2.

Para evitar que as formulações se tornassem excessivamente secativas, após a incorporação da cortiça, foi adicionada uma emulsão especial de um álcool gordo, livre de solventes, que prolonga o tempo aberto da tinta, melhorando a sua aplicabilidade sob o substrato. Além disso previne também a fissuração da película seca. Foram novamente aplicados, também, os diferentes métodos de caracterização desenvolvidos pela *Barbot* no seu Laboratório I&D.

Considerando os aspetos analisados, foram desenvolvidas misturas com as diferentes soluções formuladas com diferentes gamas e proporções de pó de cortiça. Posteriormente, as tintas submetidas a ensaio acústico foram selecionadas, entre as restantes, com base na sua capacidade de aceitação da carga orgânica, no seu aspeto e estabilidade e na sua aplicabilidade em placas de fibrocimento e de gesso cartonado (para verificação de ocorrência

ou não de fissuração na película seca). Considerou-se também oportuno a aquisição da solução acústica desenvolvida pela Tintas KAR, Lda para que em conjunto com as soluções desenvolvidas se obtenham resultados comparativos nas suas propriedades físico-químicas e na determinação dos respetivos coeficientes de absorção sonora. As suas características são apresentadas na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 Caracterização das soluções acústicas desenvolvidas (2ª fase)

CARACTERÍSTICAS	Tinta 'base' + 5% C8/C9	Tinta 'base' + 5% C8/C9 + 1% C2	Tinta KAR
Densidade (g/l)	1,244	1,192	1,386
Ph	8,48	8,20	7,47
Viscosidade (KU)	100	113	96,2
Viscosidade Brookfield (Vcp 5/20)	7820	13340	6560
Viscosidade (ICI)	1,86	2,10	2,40
Opacidade	99,40	96,69	99,55
Brancura	38,81	36,52	18,28
Brilho (60º/85º)	3,2/1,7	2,9/1,1	2,6 / 1,0
R. Seco (%)	52,41	52,87	68,63
ESTABILIDADE (KU)			
24 horas	96	115	
7 dias	94	115	
14 dias	98	117	
28 dias	93	129	

Foi também efetuado um ensaio de distribuição granulométrica às soluções acústicas desenvolvidas através do equipamento *Mastersizer* da *Malvern Instruments*®. Esta análise teve como objetivo estabelecer um paralelo entre a distribuição granulométrica da tinta 'base' com as das duas soluções preparadas com granulometrias diferentes. As representações das distribuições granulométricas analisadas são apresentadas na Figura 4.11; Figura 4.12 e Figura 4.13.

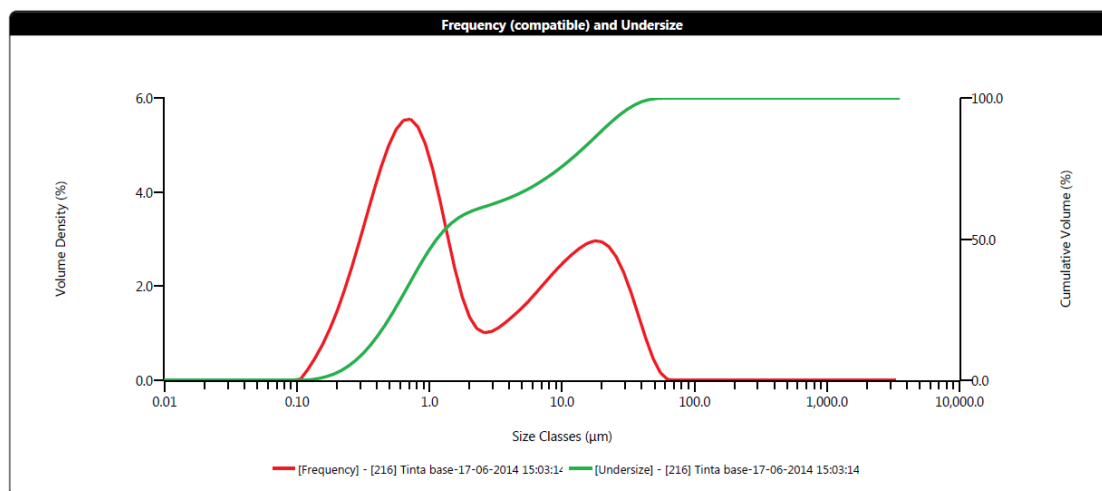


Figura 4.11 Distribuição granulométrica da tinta 'base'

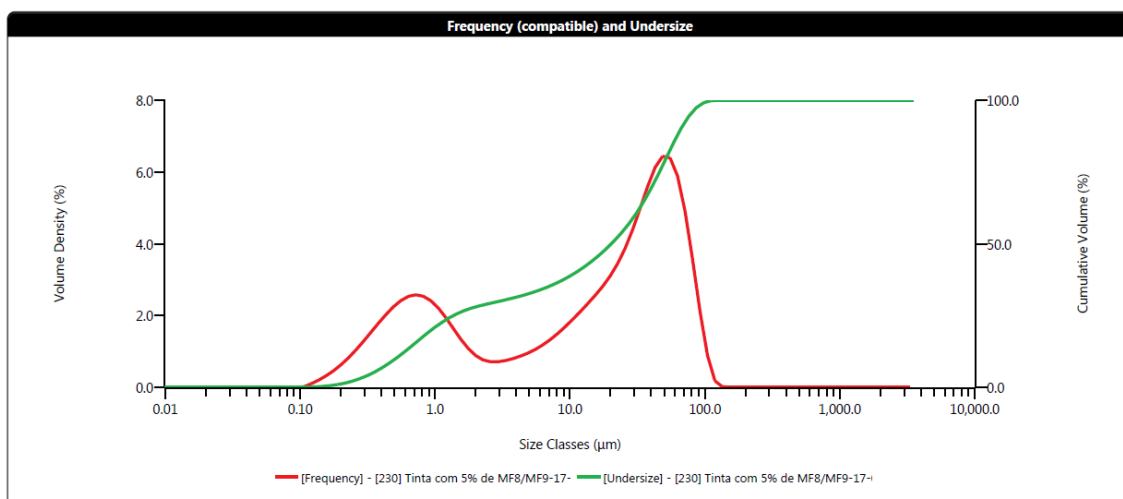


Figura 4.12 Distribuição granulométrica da tinta 'base' com 5% da mistura de pó de cortiça C8 e C9

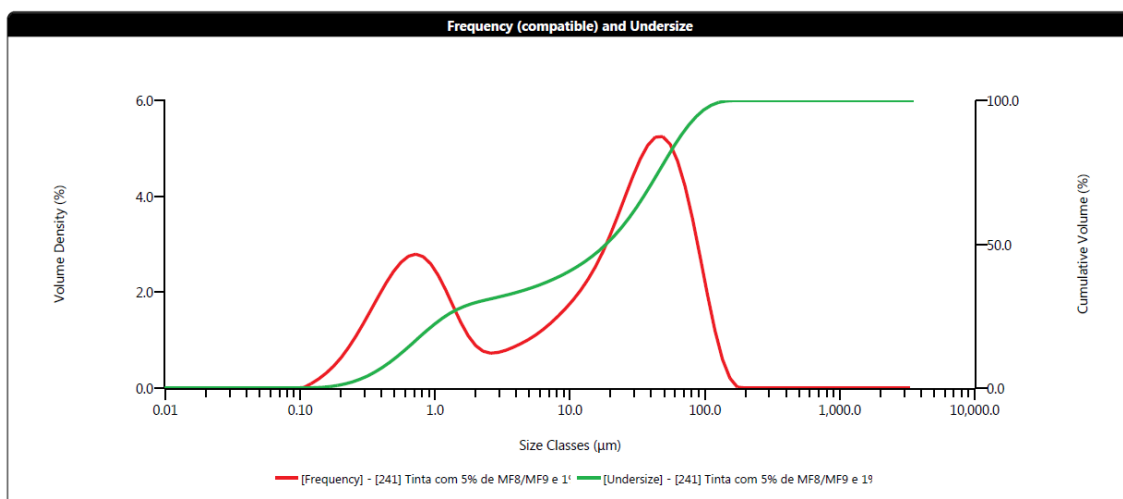


Figura 4.13 Distribuição granulométrica da tinta 'base' com 5% da mistura de pó de cortiça C8 e C9 e 1% do granulado de cortiça C2

A Tabela 4.16 quantifica numericamente a distribuição granulométrica das três tintas analisadas.

Tabela 4.16 Distribuição das cargas em cada tinta analisada

Distribuição de partículas	Tinta 'base'	Tinta 'base' + 5% C8/C9	Tinta 'base' + 5% C8/C9 + 1% C2
Dv_{10} (μm)	0,322	0,511	0,494
Dv_{50} (μm)	1,130	20,30	18,50
Dv_{90} (μm)	21,70	66,30	72,00
Dv_{98} (μm)	36,90	89,90	108,0

A cortiça incorporada na composição da tinta formulada conferiu-lhe uma coloração amarelada indesejada (Figura 4.14 e Figura 4.15). A compreensão da estrutura dos compostos responsáveis pelo amarelecimento da tinta é um dos aspetos importantes para a resolução desta problemática, sendo que o principal entrave relaciona-se com a presença de compostos fenólicos que quando em contacto com a solução aquosa migram, dando uma tonalidade

amarelada à tinta. Como observado, esta migração é tanto maior quanto menor a dimensão do pó da cortiça.



Figura 4.14 Efeito do amarelecimento em cartas de contraste [fotografia do autor]

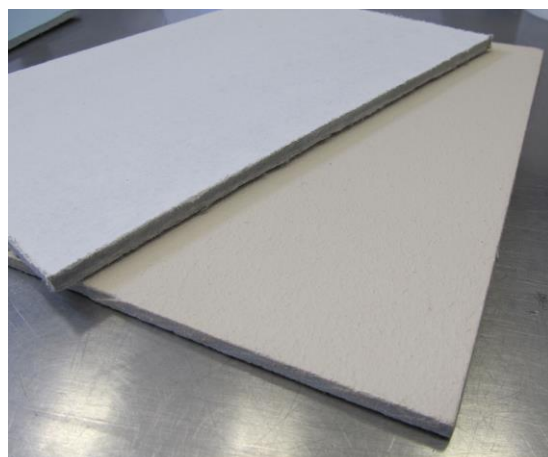


Figura 4.15 Efeito do amarelecimento em placas de fibrocimento [fotografia do autor]

Com a aplicação das tintas sobre substrato de fibrocimento e gesso cartonado, procedeu-se também ao teste da resistência ao revestimento com água. Ao final de 72 horas, substâncias lixiviáveis, em contacto com a água, originaram uma mudança de cor facilmente detetável sobre a superfície (Figura 4.16). Verificou-se portanto uma certa interação entre a tinta desenvolvida com cortiça e a água. Os taninos são umas dessas substâncias que, como já referenciado na arte, são compostos polifenólicos que entram na composição da cortiça (cerca de 6% em massa) sendo um exemplo de matéria corante presente neste material.

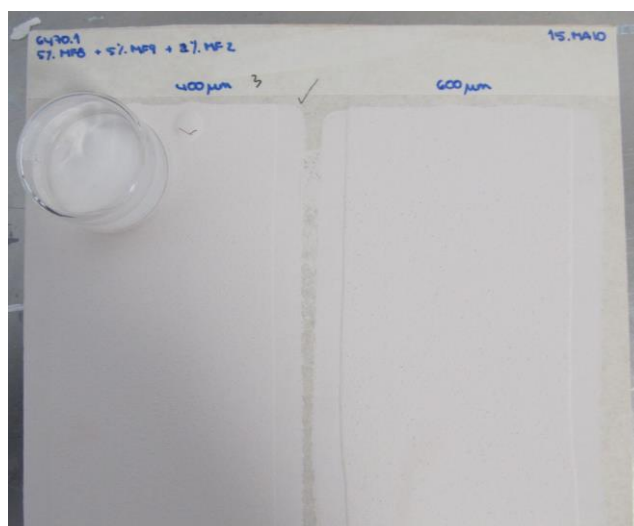


Figura 4.16 Teste de resistência química para verificar a exsudação de taninos
[fotografia do autor]

No seguimento desta problemática, o método para a 'lavagem' do pó de cortiça foi aplicado na tentativa de contrariar a coloração amarelada indesejada que a tinta 'base' adquire após a

incorporação da cortiça, permitindo a remoção de grande parte dos compostos responsáveis por esse efeito.

Incorporando o pó de cortiça 'lavado' na tinta 'base' verificou-se, por leitura no espectrofotômetro, uma maior da aproximação da cor ao branco. Contudo, o brilho é ligeiramente afetado. (Tabela 4.17).

Tabela 4.17 Quadro comparativo das características obtidas pelo espectrofotômetro e brilhômetro

Aplicações 250 µm	Opacidade	Brancura	L*	a*	b*	Brilho (60°/85°)
Mistura 5% C8 e C9	97,11	33,84	88,22	1,25	8,03	3,1/1,5
Mistura 5% C8 e C9 'lavado'	99,84	47,13	87,36	1,08	4,87	2,7/1,3
Mistura 5% C8 e C9 + 1% C2	99,94	33,58	86,40	1,18	7,18	2,7/0,9
Mistura 5% C8 e C9 + 1% C2 'lavado'	99,99	41,94	86,53	1,32	5,55	2,3/0,7
Tinta Acústica KAR	99,55	18,28	87,30	1,31	10,78	2,6/1,0

Medição da absorção sonora em câmara reverberante

O Laboratório de Acústica do Departamento de Engenharia Civil da FEUP serviu de local para a realização do ensaio que permitiu a determinação dos coeficientes de absorção sonora das soluções acústicas desenvolvidas (**tinta 'base' com 5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 e tinta 'base' com 5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 e 1% de granulado de cortiça C2**), através da medição, em bandas de frequência de um terço de oitava, do tempo de reverberação médio das amostras a analisar em câmara reverberante (Anexo III).

As variações de temperatura e humidade relativa dentro da câmara reverberante ao longo das medições podem ter uma grande influência nos valores do tempo de reverberação medidos, especialmente para altas frequências. Desse modo, as medições foram feitas sobre condições climáticas estáveis para que o efeito de absorção sonora não tivesse variação significativa. Na generalidade, as condições de ensaio antes e depois à introdução dos provetes, com as amostras, foram praticamente inalteráveis, como é verificado pelas condições apresentadas na tabela Tabela 4.18.

Tabela 4.18 Condições de ensaio em câmara reverberante R1

Humidade Relativa (%)	30 – 90%	63,7%	64,0%
Temperatura (°C)	≥15°C	23,4°C	22,4°C
L _{máx.} (m)	$< 1,9 \times V^{1/3}$		
(Comprimento da maior linha reta contida nos limites da câmara)	(V – Volume da câmara reverberante vazia (m ³))	~ 7m	

No total realizaram-se 6 ensaios de absorção acústica, aos seguintes elementos:

- Provete em gesso cartonado revestido com **2 demão** da “tinta base” (p0)
- Provete em gesso cartonado revestido com **2 demão** da tinta acústica **KAR** (p1)
- Provete em gesso cartonado revestido com **2 demãos** de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 (p/g)** (p2)
- Provete em gesso cartonado revestido com **3 demãos** de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 (p/g)** (p3)
- Provete em gesso cartonado revestido com **2 demãos** de tinta com **5% de mistura pó de cortiça C8 e C9 (p/g) e 1% de granulado de cortiça C2 (p/g)** (p4)
- Provete em gesso cartonado revestido com **3 demãos** de tinta com **5% de mistura pó de cortiça C8 e C9 (p/g) e 1% de granulado de cortiça C2 (p/g)** (p5)

Os respetivos resultados dos coeficientes de absorção sonora são apresentados na Tabela 4.19 e a sua representação gráfica é demonstrada pela Figura 4.17. Foram testadas várias configurações onde se fez variar diferentes variáveis, nomeadamente a granulometria da cortiça incorporada de forma a tentar compreender se a absorção sonora era ou não beneficiada. Além disso, testou-se a influência do número de aplicações das diferentes formulações sobre o substrato.

Tabela 4.19 Quadro resumo dos coeficientes de absorção sonora, α , por banda de frequência, de cada amostra ensaiada na câmara reverberante R1

Frequências (Hz)	p0	p1	p2	p3	p4	p5
100	0,03	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03
125	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00
160	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03
200	0,02	0,01	0,03	0,05	0,04	0,02
250	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01
315	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01
400	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,04
500	0,05	0,08	0,05	0,06	0,04	0,07
630	0,10	0,11	0,09	0,09	0,10	0,10
800	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11
1000	0,11	0,12	0,11	0,12	0,11	0,11
1250	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10
1600	0,08	0,10	0,08	0,09	0,09	0,09
2000	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07
2500	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08
3150	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,07
4000	0,08	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06
5000	0,07	0,05	0,05	0,06	0,06	0,04

Como se observa na Figura 4.17, os valores para o coeficiente de absorção registados são bastante semelhantes entre eles e muito baixos quando comparados com os valores de materiais absorventes convencionais o que impossibilita tecer qualquer conclusão com elevada firmeza.

Avaliando os resultados numa escala de 0 a 0,12, verifica-se que para frequências mais baixas, entre os 100 e os 400 Hz, nenhuma das amostras submetidas a ensaio apresenta valores de

coeficiente de absorção sonora consideráveis, dado que valores de 0,02 podem ser induzidos pela incerteza do método.

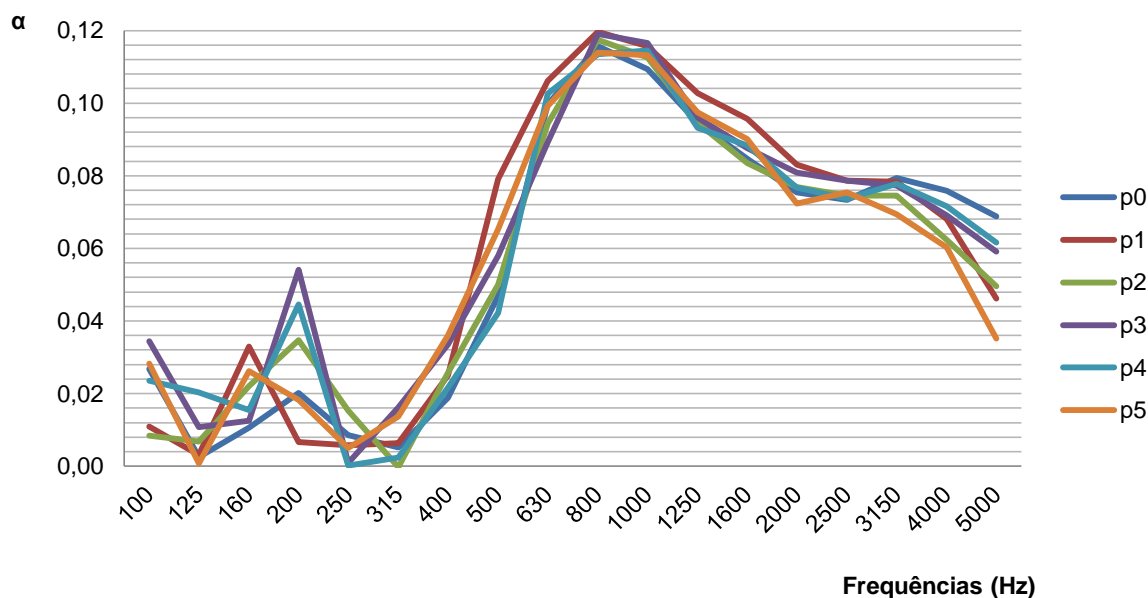


Figura 4.17 Representação gráfica dos coeficientes de absorção sonora, α , por banda de frequência, de cada amostra ensaiada na câmara reverberante R1, numa escala de 0 a 0,12

Como é facilmente observável no gráfico da Figura 4.17, as frequências abaixo dos 315 Hz apresentam valores oscilatórios e irrelevantes, devendo o efeito de absorção sonora nesta faixa ser desprezável. Os valores correspondentes a estas oscilações não devem ser considerados exatos, uma vez que, se encontram no limite da máxima fiabilidade da câmara reverberante R1, podendo também estar relacionados com as interferências dos equipamentos utilizados em cada ensaio.

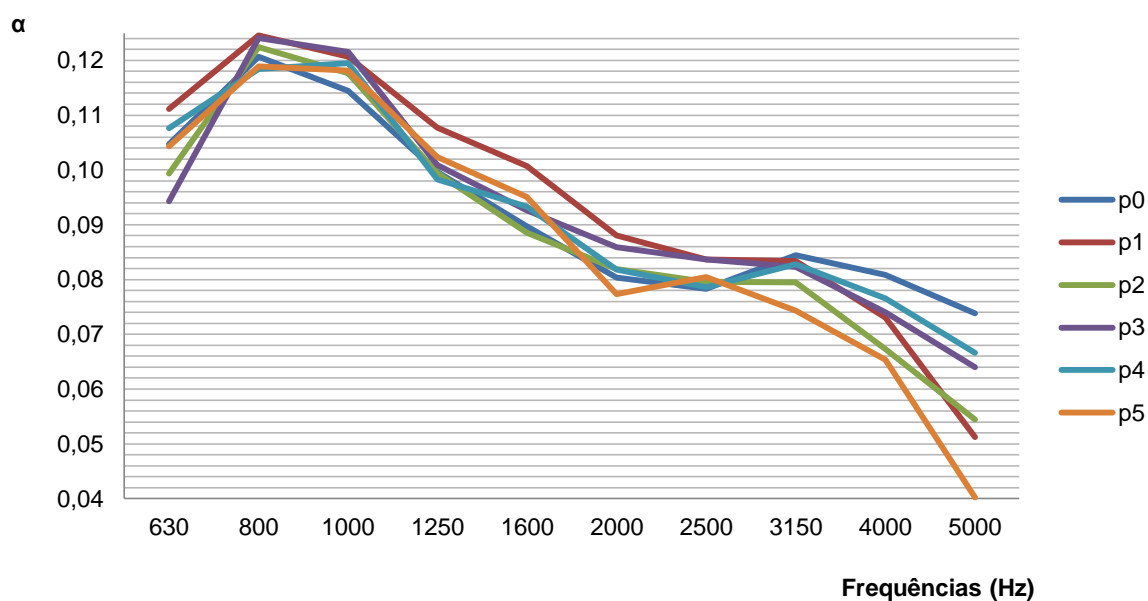


Figura 4.18 Representação gráfica dos coeficientes de absorção sonora, α , numa banda de frequências entre os 630 e 5000 Hz, de cada amostra ensaiada na câmara reverberante R1, numa escala de 0,04 a 0,12

Pela Figura 4.18, o valor máximo registrado foi de 0,12 correspondente ao pico na banda de frequências dos 800 Hz. A maior absorção na gama de frequências dos 500 aos 1250 Hz é consequência das características absorventes do substrato, em gesso cartonado, onde foram aplicadas as diferentes tintas em análise. É de considerar de maior relevância as diferenças nas altas frequências entre os 1250 e os 2500 Hz. A partir da banda de frequências dos 1600 Hz surgem pequenas variações entre os valores de α , sendo na banda dos 5000 Hz onde se registam as maiores diferenças para o coeficiente de absorção sonora.

Na Tabela 4.20 apresentam-se os valores, pouco expressivos, correspondentes ao coeficiente de redução sonora de cada tinta analisada.

Tabela 4.20 Valores do coeficiente de redução sonora (NRC) para as amostras submetidas a ensaio

NRC	p0	p1	p2	p3	p4	p5
	0,0601	0,0709	0,0637	0,0641	0,0584	0,0640

O ensaio de provetes com formulações de tinta com diferentes percentagens de cortiça permitiu averiguar se o aumento da percentagem de incorporação de granulado de cortiça se influenciou o aumento do respetivo coeficiente de absorção sonora. Em cada análise, foram seleccionadas três tintas: a tinta 'base', a tinta com 5% de cortiça e a tinta com 6% de cortiça.

Na Figura 4.19 e na Figura 4.20 estão representados os coeficientes de absorção sonora correspondentes.

Analisando em conjunto todos os resultados, verifica-se uma aproximação dos resultados em termos de absorção não sendo possível encontrar uma relação entre a percentagem de cortiça incorporada no aumento da absorção sonora.

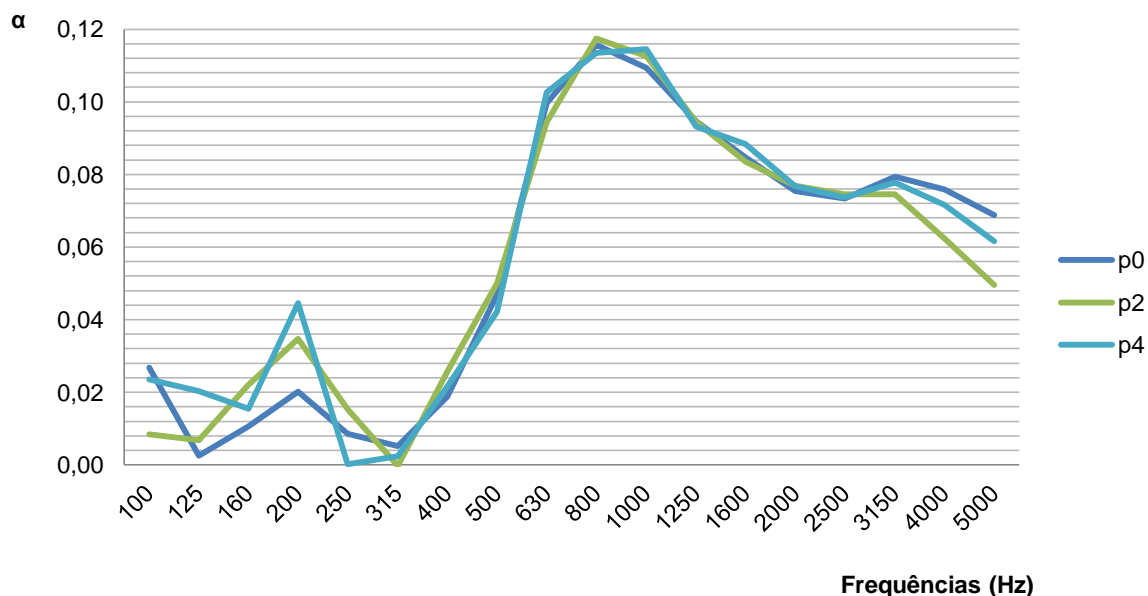


Figura 4.19 Representação gráfica dos coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra com 2 demãos da tinta 'base' (p0), para a amostra com 2 demãos de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9** (p2) e para a amostra com 2 demãos de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 e 1% de granulado de cortiça C2** (p4), por banda de frequência

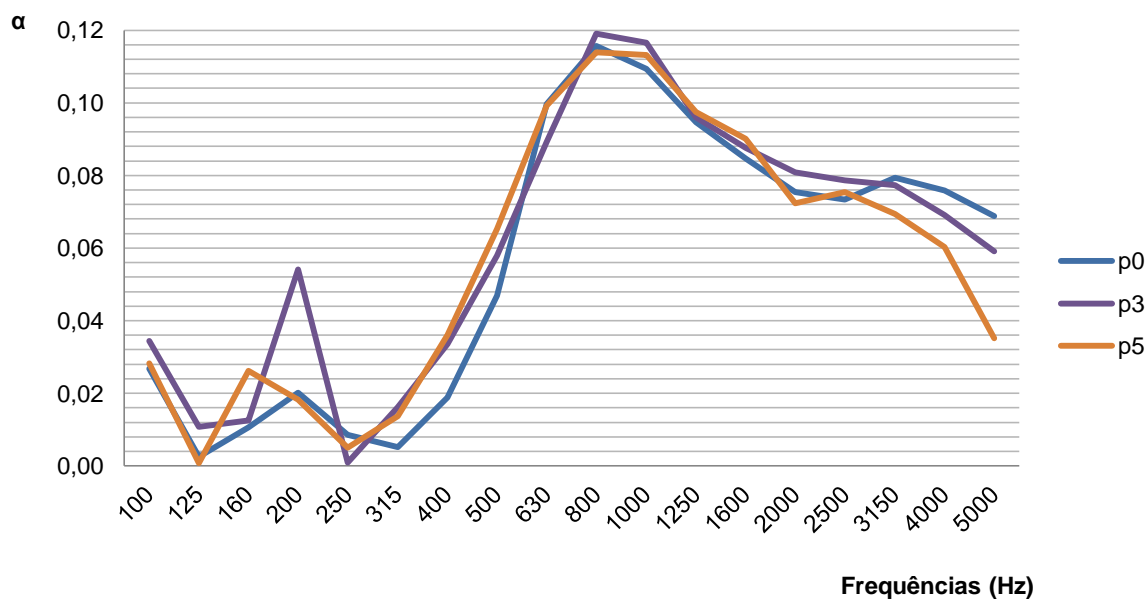


Figura 4.20 Representação gráfica dos coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra com 2 demãos da tinta 'base' (p0), para a amostra com 3 demãos de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9** (p3) e para a amostra com 3 demãos de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 e 1% de granulado de cortiça C2** (p5), por banda de frequência.

De forma a analisar a influência da espessura da camada de tinta aplicada sobre o substrato no aumento do respetivo coeficiente de absorção sonora, testou-se uma amostra com duas demãos de tinta com 5% da mistura pó de cortiça C8 e C9 (p/g) (p2) e outra amostra com três demãos (p3) da mesma tinta mantendo a superfície de acabamento igual para ambas as amostras. O mesmo procedimento foi adotado para a tinta com 5% da mistura pó de cortiça C8 e C9 e 1% de granulado de cortiça C2 (p/g) (p4 e p5).

Na Figura 4.21 e Figura 4.22 são representados os resultados das quatro amostras e a diferença de absorção entre a amostra com duas e três demãos.

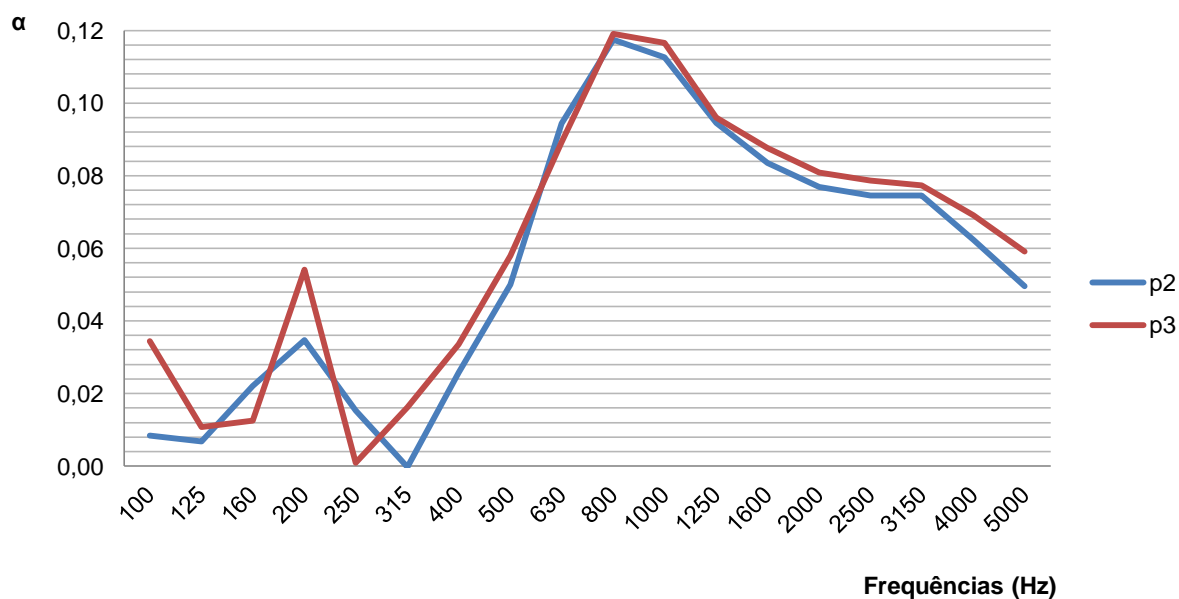


Figura 4.21 Representação gráfica dos coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra com 2 demãos de tinta com 5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 (p2) e para a amostra com 3 demãos de tinta com 5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 (p3), por banda de frequência

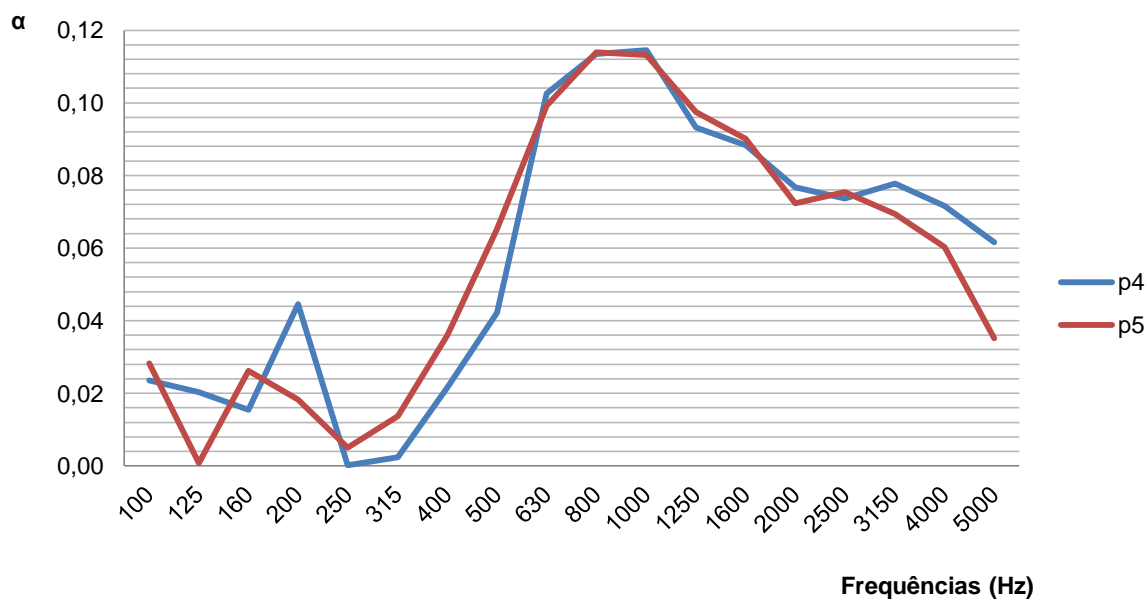


Figura 4.22 Representação gráfica dos coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra com **2 demãos de tinta** com 5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 e 1% de granulado de cortiça C2 (p4) e para a amostra com **3 demãos de tinta** com 5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 e 1% de granulado de cortiça C2 (p5), por banda de frequência

Em ambas as análises, verifica-se que as duas amostras apresentam valores muito próximos, tendo-se apenas destacado um ligeiro acréscimo de absorção sonora dos provetes com três demãos em relação aos provetes com duas demãos, entre a banda de frequências dos 250 e 630 Hz. Na Figura 4.21 verifica-se também um ligeiro acréscimo de absorção sonora da amostra com três demãos em relação à amostra com duas demãos, na banda de frequências dos 5000 Hz. Ao contrário do que se esperava e como é verificado a partir da Figura 4.22 o aumento que se verifica na amostra anterior não ocorre verificando-se um anómalo decréscimo da absorção sonora do provete com três demãos em relação ao provete com duas demãos.

Analisaram-se também os resultados obtidos a partir das tintas desenvolvidas ao longo do trabalho com a tinta acústica atualmente comercializada, aplicadas com duas demãos. Pela Figura 4.23 verifica-se que a aplicação de 2 demãos da tinta KAR (como recomendado) não justifica um aumento consideravelmente expressivo em relação às soluções desenvolvidas, não sendo por isso possível estabelecer uma relação fiável com as propriedades especiais descritas na sua ficha técnica.

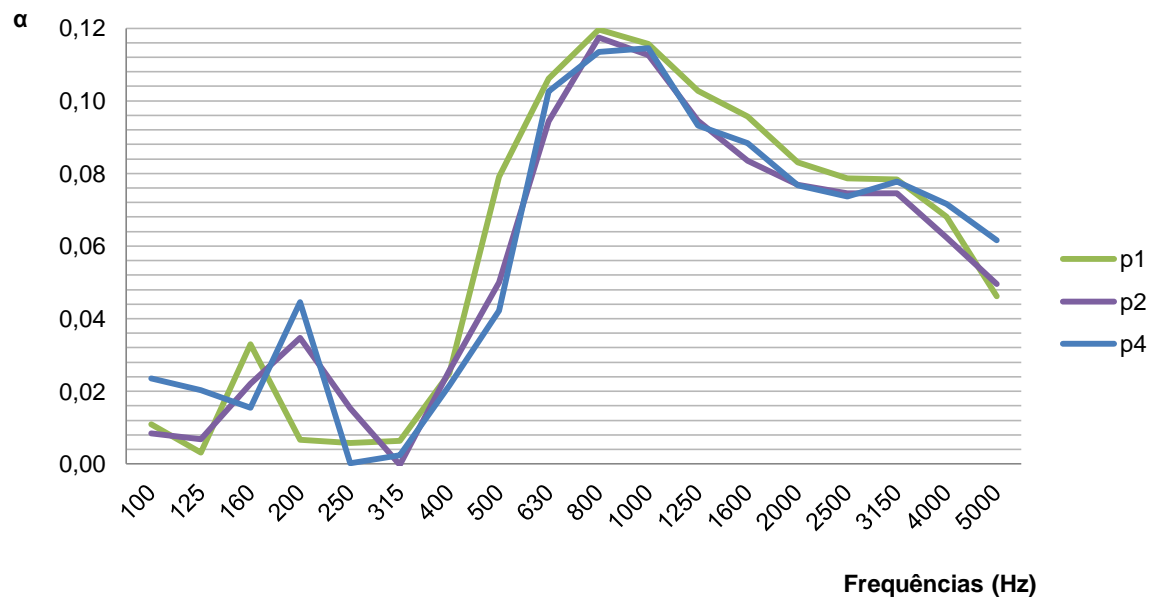


Figura 4.23 Representação gráfica comparativa dos coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra com 2 demãos de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9** (p2), para a amostra com 2 demãos de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 e 1% de granulado de cortiça C2** (p4) e para a amostra com 2 demãos da tinta KAR (p1), por banda de frequência

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A presente dissertação teve como principal objetivo o desenvolvimento de uma solução decorativa para interiores, formulada a partir da incorporação de diferentes percentagens de granulado e pó de cortiça que possibilitasse melhorias no seu desempenho acústico. Apesar de todo o trabalho já referenciado verifica-se ainda uma forte necessidade no desenvolvimento de uma solução interior que oferecesse melhores propriedades de absorção acústica a partir de um processo de formulação simples, de manuseamento prático, que não exija custos de fabrico nem de aplicação avultados e que permita um rápido escoamento dos excedentes industriais do setor corticeiro. Foram utilizadas três granulometrias distintas de cortiça, sob a forma de pó e granulado, com o intuito de se perceber a potencialidade do tamanho das partículas de cortiça nas soluções desenvolvidas e a influência da espessura do acabamento na absorção acústica. Em todas as amostras foi utilizada a mesma “tinta base” e o mesmo tipo de substrato (gesso cartonado).

Os vários provetes, devidamente preparados, foram ensaiados na câmara reverberante R1 do laboratório de acústica da FEUP para a determinação dos respetivos coeficientes de absorção sonora, segundo a norma NP EN ISO 354.

Os acréscimos de absorção sonora gerados pela pintura com cada uma das amostras de tinta em relação ao substrato, não foram suficientemente expressivos para tornar estas soluções aceitáveis como material absorvente sonoro.

Comparando a performance das soluções acústicas com a da tinta ‘base’ verifica-se que é o pó de cortiça o responsável pelas diferenças nos valores do coeficiente de absorção acústica, apesar de não serem suficientemente eficientes para uma utilização como isolante sonoro. Com esta avaliação da performance sonora, verifica-se que o número de demãos, aplicados sobre o substrato, influencia no resultado, contudo não é evidente se se deve ao aumento da camada ou ao aumento do número de partículas de cortiça incorporadas. Era de conhecimento que, materiais porosos como a cortiça possibilitam a absorção da energia sonora principalmente em médias e altas frequências, como tal é verificado com os ensaios de absorção acústica na câmara reverberante.

Analizando também a tinta acústica desenvolvida pela Tintas KAR, Lda., conclui-se que esta não apresenta um aumento expressivo nos valores do coeficiente de absorção sonora por banda de frequência. A utilização desta tinta não corresponde às propriedades anunciadas na sua ficha técnica.

Como referenciado na literatura, a cortiça, essencialmente constituída por células agrupadas de estrutura alveolar, possui poros com um diâmetro médio de 50 μm . A eficácia deste tipo de materiais depende essencialmente da sua densidade e espessura, sendo assim a granulometria dos poros foi um parâmetro crítico no desenvolvimento deste estudo. As partículas incorporadas (C8, C9 e C2) apresentavam um diâmetro médio de 46,2; 45,8 e 228 μm , respetivamente, pelo que se pode concluir que os poros das partículas de menor granulometria poderiam estar fragmentados, influenciando assim a sua performance acústica quando incorporados na tinta 'base'.

Como referenciado na arte, as ondas sonoras incidem entre si e por sua vez o ar contido nos poros entra em movimento oscilatório, criando-se atrito sobre as paredes sólidas, havendo transformação da energia em calor, ocorrendo assim a chamada absorção sonora. Sabe-se que em materiais porosos, os poros de maiores dimensões provocam uma menor vibração das fibras e conseqüentemente uma diminuição da absorção sonora do material, por outro lado o pó de cortiça (poros de dimensões consideravelmente inferiores) preenche melhor os espaços vazios da película (não absorve tanto o som). Deveria, assim, haver um equilíbrio entre os poros e os pequenos interstícios que formam a película seca após a agregação das partículas na tinta 'base', isto porque estes espaços que se formam, ao comunicar entre si garantem a permeabilidade das ondas sonoras para as altas frequências.

No trabalho desenvolvido, observou-se que a cortiça em pó tem uma dispersão muito homogénea na tinta 'base'. A sua disposição homogénea na película seca possivelmente limita os interstícios, reduzindo, dessa forma, a comunicação com o ar contido nos poros das partículas. Conclui-se assim, que o sistema de absorção que se desenvolve com a incorporação da cortiça é favorecido pelos pequenos interstícios formados pela agregação das partículas e não tanto pela estrutura molecular da cortiça.

Com este trabalho conclui-se que a adição de cortiça não é suficiente para aumentar absorção sonora da tinta, dadas as características restritivas tanto da tinta como da cortiça em si. Seria interessante estudar-se um novo conceito de revestimento com a produção de camadas de uma massa superficialmente mais porosa, constituídas por pequenas bolhas de ar no seu interior, provocadas pela combinação de outras matérias-primas, que quando aplicado sob o substrato origine um conjunto estratégico de interstícios. Uma das formas de obter esse efeito poderá passar pela exploração de outros métodos de emprego, como a projeção ou a sua aplicação através de uma espátula lisa.

Para se verificarem melhoras no desempenho acústico das soluções desenvolvidas, seria necessário aumentar a percentagem de cortiça incorporada. Na composição 'base' da formulação criada essa alternativa não seria viável devido ao limite de teor de sólidos que a resina permite suportar. Ultrapassado esse limite a tinta perderia as suas propriedades físico-químicas e reológicas comuns, passando a apresentar um aspeto mais semelhante a uma pasta. Uma alternativa passa então pela remoção total das cargas minerais que constituem a tinta, uma vez que para além de limitarem a capacidade de incorporação de cortiça na composição do revestimento, aumentam também a capacidade de reflexão das ondas sonoras impossibilitando em grande parte a absorção do som.

A alternativa apresentada poderia ser aplicada através de um sistema de duas etapas, como demonstrado na Figura 5.24 apresenta-se uma possível alternativa aplicada através de um sistema de duas etapas. Este esquema de utilização consiste inicialmente na aplicação de um revestimento primário e em seguida na aplicação do acabamento final com uma tinta decorativa. O revestimento primário consistiria então numa emulsão aquosa, livre de cargas minerais que possibilitaria a incorporação de uma maior quantidade de aglomerado de cortiça. Sugere-se, num trabalho futuro, o estudo mais aprofundado do comportamento reológico e do desempenho acústico a esta possível alternativa a um material absorvente sonoro convencional.

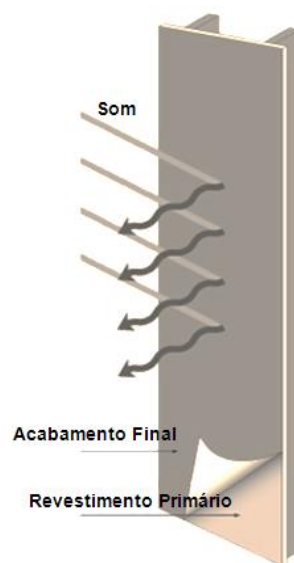


Figura 5.24 Desenvolvimento futuro com potencialidades no desempenho acústico

6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Dolgner, Daniela.** *Desenvolvimento de uma "tinta" com pó de cortiça com desempenho acústico otimizado.* Porto : FEUP, 2010.
2. **Gil, Luís e Marreiros, Noelia.** *Tintas com incorporação de partículas de cortiça para melhor comportamento térmico e acústico.* PT 103895 B Lisboa, 19 de Janeiro de 2010.
3. **Bosch Puig, Joan.** *Composition of a paint or surfacer with improved soundproofing and abrasion resistance.* EP 0872527 B1 Barcelona, 16 de Abril de 1997.
4. **Cheol, J. H.** *Patente Coreana KR20020046395* 12 de Dezembro de 2000.
5. **Chul, J. H.** *Patente Coreana KR20030026710* 26 de Setembro de 2001.
6. **UP, Chun Yang.** *Patente Coreana KR20000049714* 2 de Agosto de 2000.
7. **al., H. Hayashi et.** *Patente Japonesa JP61076568* 22 de Setembro de 1984.
8. **Hy-Tech Thermal Solutions.** Acousti-Coat #150 [Sound deadening latex paint]. *Material Safety Data Sheet.* Melbourne : Hy-Tech Thermal Solutions, LLC, Abril de 2012.
9. **Tintas KAR.** Boletim técnico: Tinta Acústica 3048. [Online] Dezembro de 2006. [Citação: 29 de Março de 2014.] <http://www.tintaskar.pt/construcao/bt/3048.pdf>.
10. **Amorim Cork Composites.** Corkwall. [Online] Abril de 2011. <http://www.acustekpro.com/media/1486/ficha-tecnica-ptpdf>.
11. **Gil, Luís.** *Cortiça: Produção, Tecnologia e Aplicação.* Lisboa : Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, 1996.
12. **APCOR - Associação Portuguesa da Cortiça.** *Cortiça, Cultura, Natureza, Futuro. Estudo de Caracterização Sectorial.* s.l. : APCOR, 2011.
13. **S. P. Silva, M. A. Sabino, E. M. Fernandes, V. M. Correlo, L. F. Boesel.** Cork: properties, capabilities and applications. [ed.] Maney for the Institute and ASM International. *International Materials Reviews.* 2005, Vol. 50, pp. 345-365.
14. **Graça, J.** *Constituintes químicos da cortiça e de outros tecidos suberosos.* [autor do livro] ISA. *Trabalho das provas de aptidão pedagógica e capacidade científica.* Lisboa : s.n., 1990.

15. **Ferreira, M.F., Soares, M.E. e Bastos, M.L.** Avaliação do conteúdo de ferro, cobre, alumínio, chumbo e cromo em cortiça originária de Portugal, Espanha e Marrocos, por espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotécnica. s.l. : CTCOR Magazine, 1996, Vol. I, pp. 48-57.
16. **Gibson, L. J. e Ashby, M. F.** *Cellular solids: structure and properties*. 2º. s.l. : Cambridge University Press, pp. 453-467.
17. **Portela, Marcelo.** Materiais Acústicos. *Conceitos para acústica arquitectonica* . LVA/UFSC : s.n.
18. **APCOR.** Propriedades da Cortiça. *APCOR - Associação Portuguesa da Cortiça*. [Online] 2014. [Citação: 26 de Fevereiro de 2014.] <http://www.apcor.pt/artigo/sobre-a-cortica.htm>.
19. **Nogueira, José Luís.** O que é uma tinta? O que é um verniz? Seus constituintes principais. [autor do livro] José Luis Nogueira. *Noções Básicas de Tintas e Vernizes*. Porto : ARCP - Associação Rede Competência em Polímeros, Vol. I, pp. 81-83.
20. **DGQ.** NP-41: Tintas e Vernizes - Terminologia e Definições. [ed.] Direção Geral da Qualidade (DGQ). s.l. : Editorial Império, Lda, 1982, pp. 1-12.
21. **Nogueira, José Luis.** Pigmentos. [autor do livro] José Luís Nogueira. *Noções*. Porto : ARCP - Associação Rede Competência em Polímeros, Vol. I, 2, pp. 84-99.
22. **Nogueira, José Luís.** *Noções Básicas de Tintas e Vernizes*. s.l. : Coleção ARCp. Vol. I.
23. Aditivos. *Noções básicas de tintas e vernizes*. Porto : ARCP - Associação Rede Competencia em Polímeros, Vol. I, 2, pp. 125-126.
24. **Marrion, A. R.** “*The Chemistry and Physics of Coatings*”. Cambridge : Royal Society of Chemistry, 1994.
25. Acústica. Vocabulário. Parte I: Definições Gerais. *Norma Portuguesa - 3225/1*. 1986.
26. **Carvalho, A. P. Oliveira de.** *Texto de Apoio à Disciplina de Acústica Ambiental e de Edifícios*. FEUP : Departamento de Engenharia Civil.
27. **Ponzetto, Elisabete e Rosa, Fábio.** TENSOATIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTOS. *Oxíteno S.A. Indústria e Comércio*. 2003.
28. “Acústica - Medição da absorção sonora em câmara reverberante”. 2007. NP EN ISO 354:2007.
29. **Gil, Luis.** Composição química global da cortiça. [ed.] Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial. *Cortiça: Produção, Tecnologia e Aplicação*. s.l. : Gráfica Rosial, Lda, 1996, pp. 238-255.
30. **Nogueira, José Luis.** Pigmentos. [autor do livro] José Luís Nogueira. *Noções básicas de tintas e vernizes*. Porto : ARCP - Associação Rede Competência em Polímeros, Vol. I, 2, pp. 84-99.
31. **Gil, Luís.** Aglomerados de cortiça para isolamentos térmicos e acústicos. *A cortiça como material de construção - Manual Técnico*. s.l. : APCOR – Associação Portuguesa de Cortiça, pp. 23-29.
32. **Hy-Tech Thermal Solutions.** Acousti-Coat: Sound Reduction Paint Coating. [Online] [Citação: 29 de Março de 2014.] <http://www.hytechsales.com/prod150.html>.

33. Acouti-Coat: Sound Deadening Latex Coating . [Online] [Citação: 29 de Março de 2014.] <http://www.hytechsales.com/download/Acousti-Coat%20Product%20Description.pdf>.
34. **Corticeira Amorim**. Referência mundial em soluções construtivas. [Online] 2014. [Citação: 30 de Março de 2014.] <http://www.amorim.com/porque-cortica/Na-Construcao-e-Infra-Estruturas/37/>.
35. **Fábrica de tintas KAR, LDA**. Boletim Técnico - Tinta acústica 3048. *Características Técnicas* . Maia : Tintas KAR, Dezembro de 2006.
36. **Omya Comital, Minerais e Especialidades, SA**. Determinação da absorção de óleo: Tutorial. Setembro de 2011.
37. **Shwartz, M. and Baumstark, R**. *“Waterbased Acrylates for Decorative Coatings”*. s.l. : Ulrich Zorl, 2001.
38. **Adrián, Ramón e Arreche, Maria**. *Formulation with insulation properties* . WO 2010/128190 A1 Navarra, 11 de Novembro de 2010.
39. EN ISO 266:1997, “Acoustics – Preferred Frequencies”.
40. EN ISO 9613-1:1996, “Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere”.

ANEXO I

Caracterização das soluções acústicas desenvolvidas (1.ª Fase)

	C8 (~46,2 µm)				C9 (~45,8 µm)				C2 (~228 µm)				C5 (~408 µm)				C7 (~389 µm)			
	1%	2%	3%	5%	1%	2%	3%	5%	1%	2%	3%	5%	1%	2%	3%	5%	1%	2%	3%	5%
Densidade (g/l)	1,112	1,341	1,079	1,280	1,362	1,355	1,343	1,326	1,244	1,100	0,942	1,108	1,231	1,135	0,977	1,049	1,240	1,094	1,084	1,150
pH	8,00	7,91	7,72	7,26	8,61	8,40	8,11	7,84	8,31	7,99	7,16	7,51	8,25	8,00	7,68	7,36	8,06	7,96	7,63	7,36
Viscosidade (KU)	93	105	109	140	97	103	113	140	97	104	117	Sem leitura	102	110	126	Sem leitura	96	110	112	144
Viscosidade Brook. (cP)	6780	9060	11940	56500	6960	8680	11560	28350	8720	11120	15900	41250	8580	12720	17760	49100	7440	10340	12940	32800
Viscosidade (ICI)	2,01	2,34	3,51	6,40	2,01	2,43	2,73	4,41	4,90	5,10	5,28	5,35	5,28	5,25	5,37	5,66	5,7	5,61	5,76	5,87
Opacidade (250 µm)	99,29	99,46	99,77	99,69	99,35	94,74	99,28	98,45	98,32	98,99	98,45	98,41	97,69	99,24	97,08	Sem leitura	99,3	99,94	98,45	99,75
Brancura	54,36	44,7	33,21	18,86	59,55	51,77	39,46	27,51	67,02	58,13	50,54	34,81	70,55	60,33	52,74	Sem leitura	63,14	52,2	43,09	27,84
L*	91,17	89,12	87,06	84,11	92,07	91,79	88,34	85,5	93,64	92,06	90,64	87,32	93,69	92,84	90,40	87,10	93,95	91,87	90,49	87,5
a*	0,52	0,65	0,96	1,35	0,29	-0,03	1,04	1,35	0,10	0,08	0,24	0,48	-0,30	-0,27	0,36	0,52	-0,13	0,05	0,25	0,40
b*	5,22	6,22	7,58	9,06	4,55	6,09	6,92	7,99	3,79	4,88	5,76	7,37	3,65	4,81	6,07	7,45	4,8	6,04	7,25	8,89
Brilho (60°/85°)	3,0 / 2,6	2,6 / 2,2	2,4 / 1,7	1,9 / 0,9	3,0 / 2,8	2,0 / 2,5	2,5 / 1,8	2,0 / 0,9	3,1 / 1,5	2,7 / 1,1	2,4 / 0,5	1,7 / 0,0	2,9 / 2,1	2,7 / 0,4	2,4 / 0,4	Sem leitura	2,7 / 1,6	2,7 / 0,6	2,5 / 0,4	1,7 / 0,1
R. Seco (%)	59	60	60	60	59	59	59	61	59	59	59	60	60	59	59	60	59	59	59	61
Estabilidade (KU)	1%	2%	3%	5%	1%	2%	3%	5%	1%	2%	3%	5%	1%	2%	3%	5%	1%	2%	3%	5%
24 horas	93	102	105	147	97	102	112	144	96	111	124	Sem leitura	102	112	129	Sem leitura	97	103	106	146
7 dias	91	98	104	Sem leitura	91	98	108	145	95	110	115	Sem leitura	101	115	136	Sem leitura	93	98	110	Sem leitura
14 dias	89	99	102	Sem leitura	91	98	112	Sem leitura	90	105	120	Sem leitura	95	119	146	Sem leitura	92	103	117	Sem leitura
28 dias	86	98	136	Sem leitura	91	99	114	Sem leitura	94	108	125	Sem leitura	99	119	Sem leitura	Sem leitura	93	108	Sem leitura	Sem leitura

ANEXO II

Medição da Distribuição Granulométrica no **Coulter**

Foram realizados vários ensaios no granulômetro (*LS Particle Size Analyzer* da *Coulter*) que emprega a técnica complementar de PIDS (*polarization intensive differential scattering*) do Laboratório de Apoio às Técnicas Laboratoriais do Departamento de Engenharia Química da FEUP para uma melhor percepção da distribuição granulométrica das amostras resultantes. Foram também determinadas as curvas de distribuição granulométrica para as tintas atualmente comercializadas (Tinta acústica da KAR e Tinta *Acousti-coat* da *Hy-Tech*). A análise granulométrica consistiu na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras e no tratamento estatístico dessa informação, cuja informação se apresenta abaixo.



Figura II.25 Granulômetro *LS Particle Size Analyzer* da *Coulter*

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

INCORPORAÇÃO DE PÓ DE CORTIÇA C9

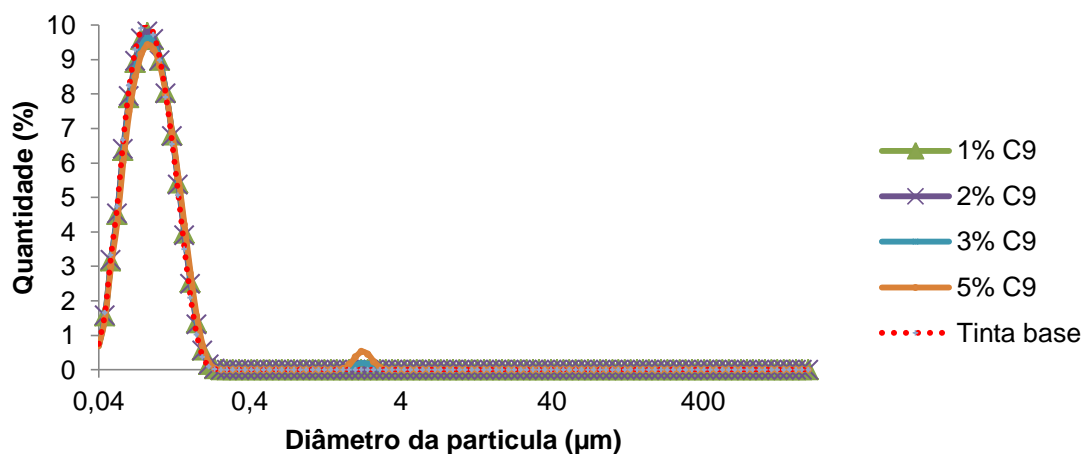


Figura II.26 Medição da distribuição granulométrica da tinta com incorporação do pó de cortiça C9

Tabela II.21 Resultados da distribuição granulométrica da tinta com incorporação do pó de cortiça C9

Distribuição Granulométrica	1% C9	2% C9	3% C9	5% C9
D10 (μm)	0,0583	0,0582	0,0586	0,0584
D50 (μm)	0,0911	0,0909	0,0923	0,0917
D90 (μm)	0,1456	0,1453	0,1509	0,1493

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

INCORPORAÇÃO DE PÓ DE CORTIÇA C8

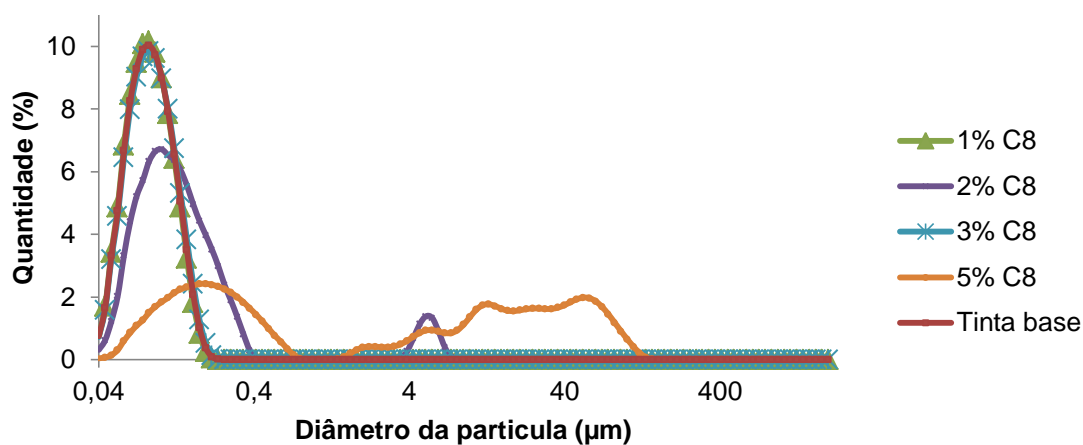


Figura II.27 Medição da distribuição granulométrica da tinta com incorporação do pó de cortiça C8

Tabela II.22 Resultados da distribuição granulométrica da tinta com incorporação do pó de cortiça C8

Distribuição Granulométrica	1% C8	2% C8	3% C8	5% C8
D10 (μm)	0,0575	0,0574	0,0582	0,1176
D50 (μm)	0,0884	0,0884	0,0907	5,0774
D90 (μm)	0,1388	0,1388	0,1450	59,733

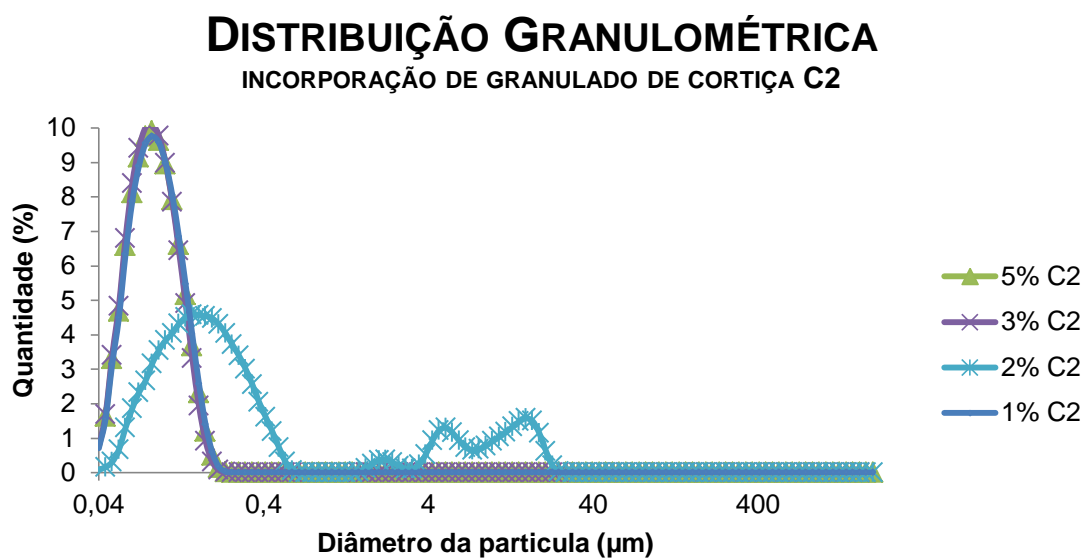


Figura II.28 Medição da distribuição granulométrica da tinta com incorporação do pó de cortiça C2

Tabela II.23 Resultados da distribuição granulométrica da tinta com incorporação do pó de cortiça C2

Distribuição Granulométrica	1% C2	2% C2	3% C2	5% C2
D10 (μm)	0,0583	0,0875	0,0570	0,0583
D50 (μm)	0,0911	0,2215	0,0871	0,0912
D90 (μm)	0,1457	11,078	0,1350	0,1465

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

TINTA ACÚSTICA KAR

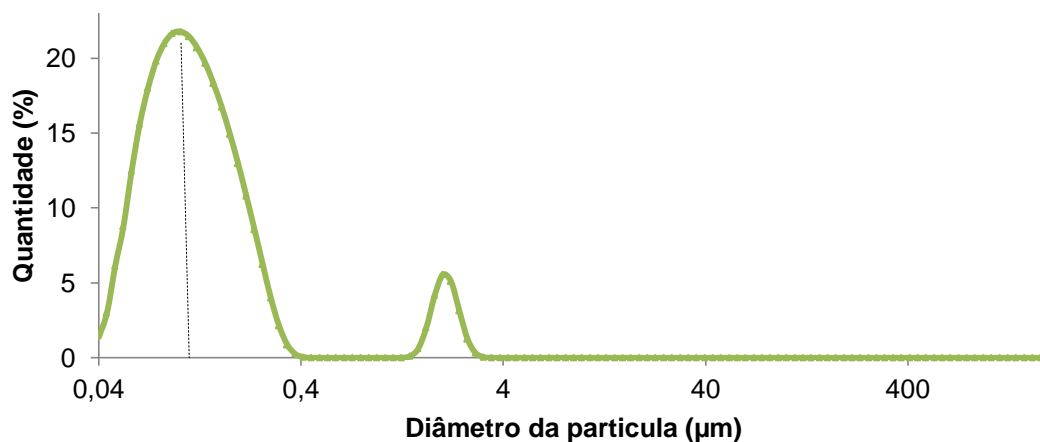


Figura II.29 Medição da distribuição granulométrica da Tinta Acústica KAR

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

TINTA HY-TECH ACOUSTI-COAT

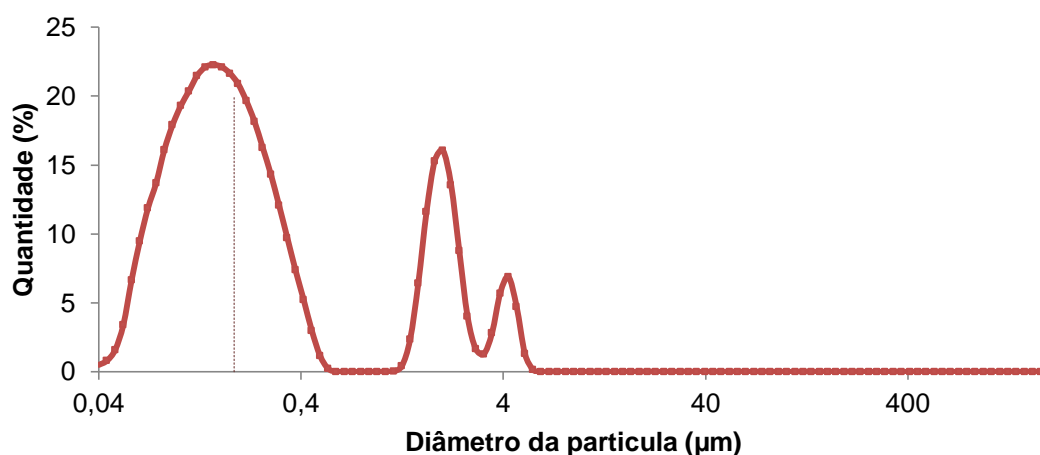


Figura II.30 Medição da distribuição granulométrica da Tinta Acousti-coat

Tabela II.24 Resultados da distribuição granulométrica da Tinta Acústica KAR e da Tinta Acousti-coat

Distribuição Granulométrica	Tinta Acústica KAR	Tinta Hy-tech Acousti-coat
D10 (μm)	0,0643	0,0834
D50 (μm)	0,1193	0,1953
D90 (μm)	0,2702	2,2820

ANEXO III

Relatório de Ensaio Acústico

O **Laboratório de Acústica do Departamento de Engenharia Civil da FEUP**, serviu de local para a realização do ensaio que permitiu a determinação dos coeficientes de absorção sonora das soluções acústicas desenvolvidas. O método consiste na medição do tempo de reverberação médio na câmara reverberante com e sem o provete de ensaio, que se pretende analisar. As medições são feitas para bandas de um terço de oitava centradas nas seguintes frequências (Hz), de acordo com a norma EN ISO 266 (29)

100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000

A câmara reverberante (R1), com 204 m^3 de volume total, é um espaço totalmente isolado do exterior que inclui difusores suspensos no seu interior, para que as reflexões sonoras se distribuam o mais uniforme possível. Por sua vez, os provetes submetidos a ensaio, com um total de $9,6 \text{ m}^2$, foram colocados sobre o pavimento numa posição central da câmara. (Figura III.31; Figura III.32)

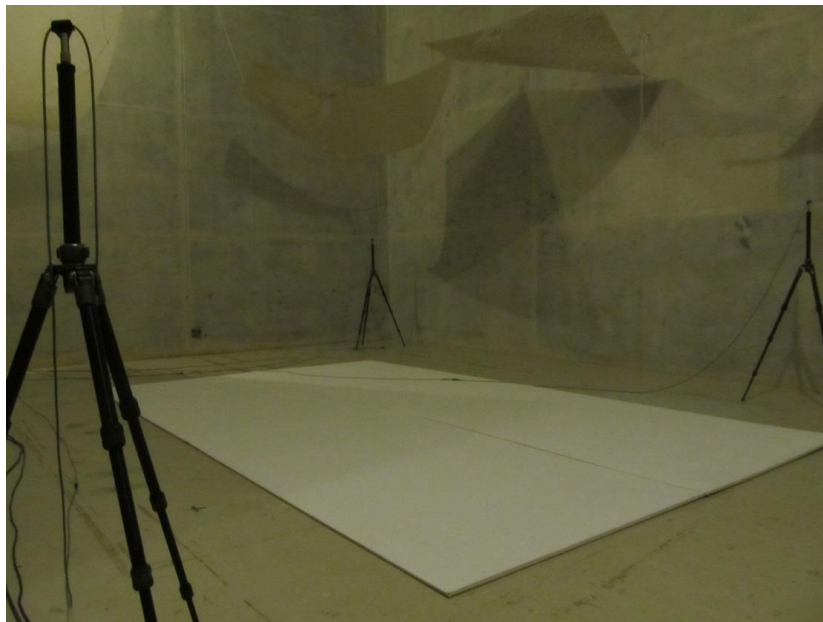


Figura III.31 Disposição dos provetes de ensaio sobre o pavimento da câmara reverberante R1 [fotografia do autor]

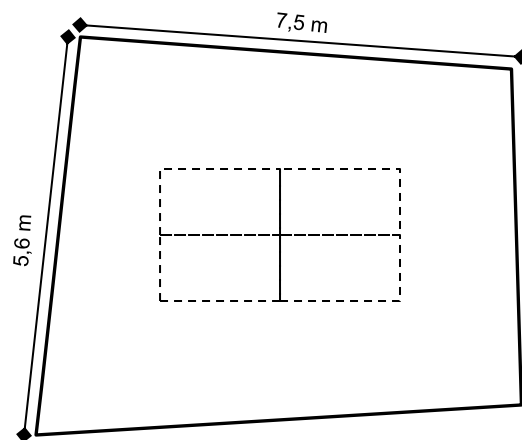


Figura III.32 Planta esquemática da Câmara Reverberante R1 do Laboratório de Acústica do Departamento de Engenharia Civil da FEUP

Para cada ensaio, o equipamento *PULSE* da *Brüel & Kjaer* com o software *LabShop 10.1*, permite gerar automaticamente, a partir da câmara reverberante, as curvas de decaimento e determinar os tempos de reverberação para duas posições diferentes dos microfones e da fonte sonora.

Os equipamentos utilizados nos ensaios foram:

- Sistema de aquisição de dados *Brüel & Kjaer PULSE* – Tipo 3560-D;
- Software de aquisição e tratamento de dados *Brüel & Kjaer PULSE* v. X;
- Amplificador *LABGRUPPEN LAB300*;
- Calibrador *Brüel & Kjaer* – Tipo 4226;
- Termo-Higrómetro *Wm HTA 4200*;
- 2 Fontes sonoras semiomnidirecionais *JBL EON 15-62*;
- Microfones *Brüel & Kjaer 1/2"* – Tipo 4190.

O tempo de reverberação na câmara reverberante sem e com o provete, T_1 e T_2 , respetivamente, é resultado da média aritmética do número de medições, em cada banda de frequência.

A partir dos tempos de reverberação obtidos, T_1 e T_2 , a área de absorção sonora equivalente é determinada (A_i), a partir da Equação 4 resultante da fórmula de Sabine.

Equação 4

$$A_i = \frac{55,3 \times V}{c \times T_i} - 4 \times V \times m_i \quad [m^2]$$

V – Volume da câmara reverberante vazia (m^3) – 204 m^3 ;

c – Velocidade de propagação do som no ar ($m.s^{-1}$);

Equação 5

$$c = 331 + 0,6 \times \theta \quad [ms^{-1}]$$

θ – Temperatura do ar ($^{\circ}C$)

T_i – Tempo de reverberação na câmara reverberante, em cada ensaio (s);

m_i – Coeficiente de absorção sonora do ar (m^{-1})

Equação 6

$$m = \frac{\alpha'}{10 \log(e)} \quad [m^{-1}]$$

α' – Coeficiente de atenuação atmosférica (definido e quantificado pela norma EN ISO 9613-1 (30)). Depende das condições climáticas registadas durante o ensaio acústico em câmara reverberante vazia.

A área de absorção equivalente de um provete de ensaio, A , é determinado após o cálculo dos parâmetros A_1 e A_2 , de acordo com a **Equação 7**.

Equação 7

$$A = 55,3V \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4V(m_2 - m_1) \quad [m^2]$$

Desta forma, para se calcular o coeficiente de absorção sonora, α , aplica-se a **Equação 8**.

Equação 8

$$\alpha = \frac{A}{S}$$

Onde,

A – Área de absorção sonora equivalente do provete com a amostra (m^2)

S – Área do provete com a amostra (m^2)

O ensaio deve ser feito em condições climáticas estáveis para que o efeito de absorção sonora do ar não tenha variação significativa. Na generalidade, as condições de ensaio antes e depois à introdução dos provetes, com as amostras, foram praticamente inalteráveis pelo que a correção de m foi desnecessária.

Tabela III.25 Condições de ensaio em câmara reverberante R1

Humidade Relativa (%)	30 – 90%	63,7%	64,0%
Temperatura (°C)	$\geq 15^\circ\text{C}$	23,4°C	22,4°C
$L_{\text{máx.}}$ (m)	$< 1,9 \times V^{1/3}$		
(Comprimento da maior linha reta contida nos limites da câmara)	(V – Volume da câmara reverberante vazia (m^3))		$\sim 7m$

RESULTADOS

Com este teste pretendeu-se ensaiar várias configurações fazendo variar diferentes variáveis. No total procedeu-se a 6 ensaios de absorção acústica. Os respetivos resultados são apresentados na **Tabela III.26** e a sua representação gráfica é demonstrada pela **Figura III.33**. Foram testadas dois tipos de formulações com variações na percentagem e granulometria de cortiça incorporada de forma a tentar compreender se a absorção sonora era ou não beneficiada. Além disso, testou-se a influência do número de aplicações das diferentes formulações sobre o substrato.

Tabela III.26 Quadro resumo dos tempos de residência médios por banda de frequência dos ensaios realizados na câmara reverberante R1

Frequências (Hz)	p0	p1	p2	p3	p4	p5	REF-Média
100	12,19	12,92	13,04	11,87	12,33	12,12	13,48
125	11,96	11,94	11,79	11,62	11,26	12,04	12,07
160	10,56	9,87	10,20	10,50	10,41	10,07	10,92
200	10,55	11,01	10,10	9,55	9,81	10,61	11,26
250	9,11	9,18	8,95	9,30	9,32	9,20	9,33
315	9,96	9,92	10,12	9,65	10,04	9,72	10,11
400	8,99	8,85	8,83	8,66	8,93	8,60	9,47
500	8,32	7,71	8,25	8,10	8,41	7,96	9,39
630	7,38	7,28	7,46	7,55	7,33	7,38	9,41
800	6,77	6,72	6,75	6,73	6,80	6,79	8,79
1000	6,51	6,43	6,47	6,42	6,45	6,46	8,23
1250	6,06	5,98	6,06	6,05	6,08	6,03	7,29
1600	5,75	5,65	5,76	5,72	5,72	5,70	6,71
2000	5,35	5,28	5,34	5,30	5,34	5,37	6,07
2500	4,81	4,78	4,81	4,78	4,81	4,80	5,37
3150	4,24	4,24	4,26	4,25	4,25	4,29	4,70
4000	3,56	3,59	3,61	3,59	3,58	3,62	3,87
5000	2,86	2,92	2,91	2,89	2,88	2,94	3,04

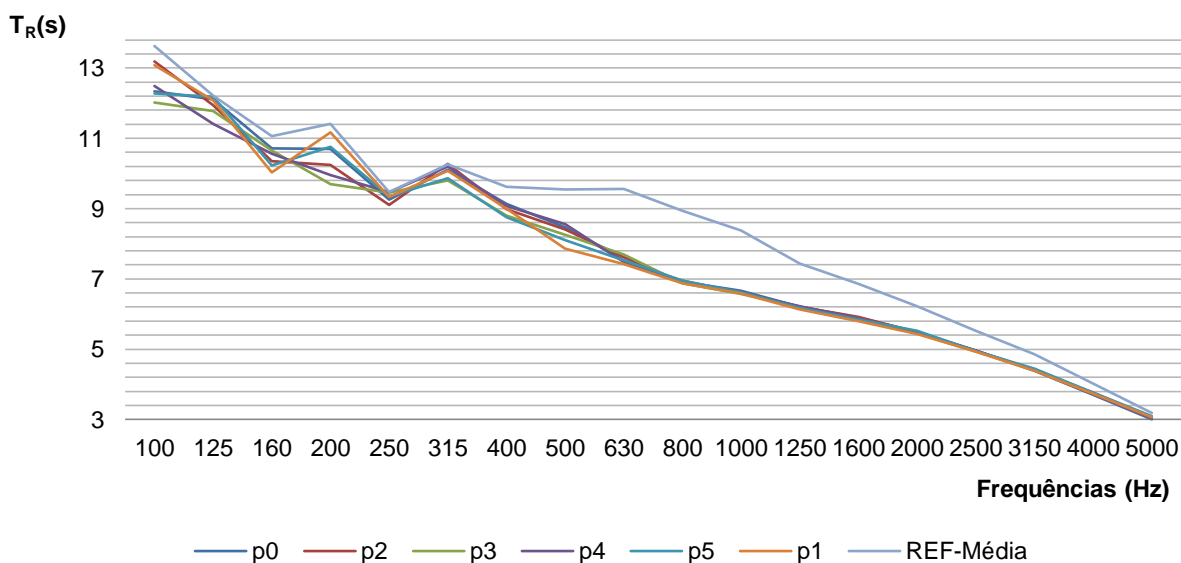


Figura III.33 Representação dos tempos de residência por banda de frequência dos ensaios realizados na câmara reverberante R1

Com,

- P0 – Provete em gesso cartonado revestido com **2 demão** da “tinta base”
- P1 – Provete em gesso cartonado revestido com **2 demão** da tinta acústica **KAR**
- P2 – Provete em gesso cartonado revestido com **2 demãos** de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 (p/g)**
- P3 – Provete em gesso cartonado revestido com **3 demãos** de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 (p/g)**
- P4 – Provete em gesso cartonado revestido com **2 demãos** de tinta com **5% de mistura pó de cortiça C8 e C9 (p/g) e 1% de granulado de cortiça C2 (p/g)**
- P5 – Provete em gesso cartonado revestido com **3 demãos** de tinta com **5% de mistura pó de cortiça C8 e C9 (p/g) e 1% de granulado de cortiça C2 (p/g)**

Tabela III.27 Quadro resumo dos coeficientes de absorção sonora, α , por banda de frequência, de cada amostra ensaiada na câmara reverberante R1

Frequências (Hz)	p0	p1	p2	p3	p4	p5
100	0,03	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03
125	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00
160	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03
200	0,02	0,01	0,03	0,05	0,04	0,02
250	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01
315	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01
400	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,04
500	0,05	0,08	0,05	0,06	0,04	0,07
630	0,10	0,11	0,09	0,09	0,10	0,10
800	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11
1000	0,11	0,12	0,11	0,12	0,11	0,11
1250	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10
1600	0,08	0,10	0,08	0,09	0,09	0,09
2000	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07
2500	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08
3150	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,07
4000	0,08	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06
5000	0,07	0,05	0,05	0,06	0,06	0,04

Tabela III.28 Valores do coeficiente de redução sonora (NRC) para as amostras submetidas a ensaio

NRC	p0	p1	p2	p3	p4	p5
	0,0601	0,0709	0,0637	0,0641	0,0584	0,0640

Como se observa na Figura 4.17, todos os resultados são muito próximos para valores reduzidos de coeficientes de absorção. Além disso, avaliando os resultados numa escala de 0 a 0,12, verifica-se que para frequências mais baixas, entre os 100 e os 400 Hz, nenhuma das amostras submetidas a ensaio apresenta valores de coeficiente de absorção sonora consideráveis, dado que valores de 0,02 podem ser induzidos pela incerteza do método.

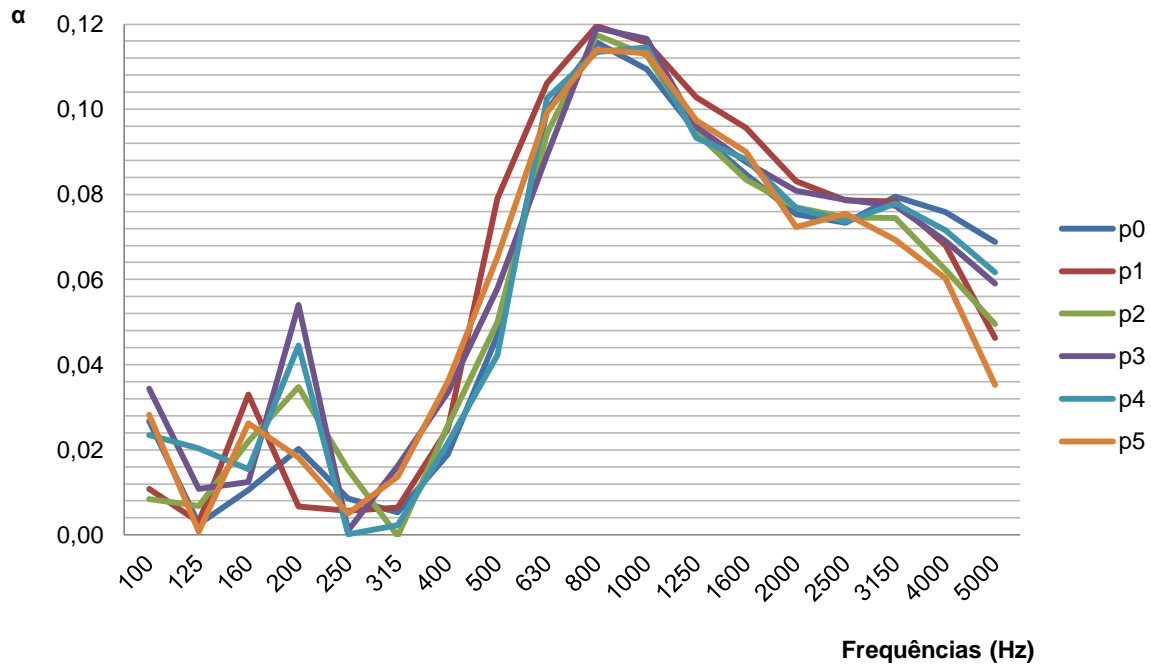


Figura III.34 Representação gráfica dos coeficientes de absorção sonora, α , por banda de frequência, de cada amostra ensaiada na câmara reverberante R1, numa escala de 0 a 0,12

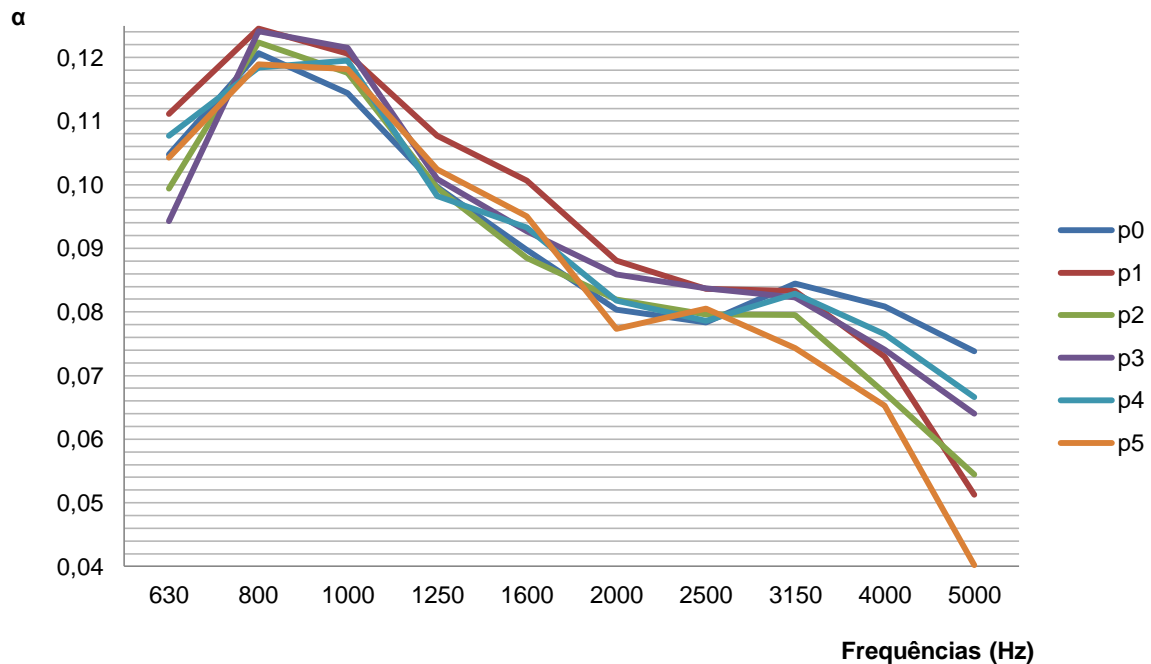


Figura III.35 Representação gráfica dos coeficientes de absorção sonora, α , numa banda de frequências entre os 630 e 5000 Hz, de cada amostra ensaiada na câmara reverberante R1, numa escala de 0,04 a 0,12

Pela Figura 4.18, verifica-se que apenas é de considerar de maior relevância as diferenças nas altas frequências entre os 1250 e os 2500 Hz.

Influência na percentagem de incorporação de cortiça

O ensaio de provetes com formulações de tinta com diferentes percentagens de cortiça permitiu averiguar se o aumento da percentagem de incorporação de granulado de cortiça se influenciou o aumento do respetivo coeficiente de absorção sonora.

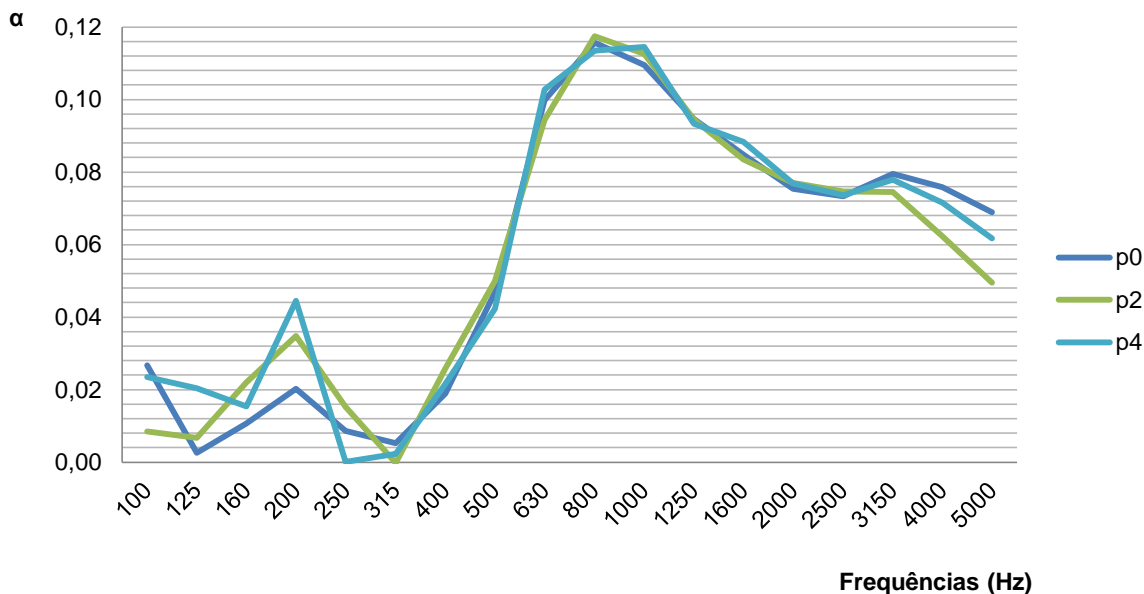


Figura III.36 Representação gráfica dos coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra com 2 demãos da tinta 'base' (p0), para a amostra com 2 demãos de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9** (p2) e para a amostra com 2 demãos de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 e 1% de granulado de cortiça C2** (p4), por banda de frequência

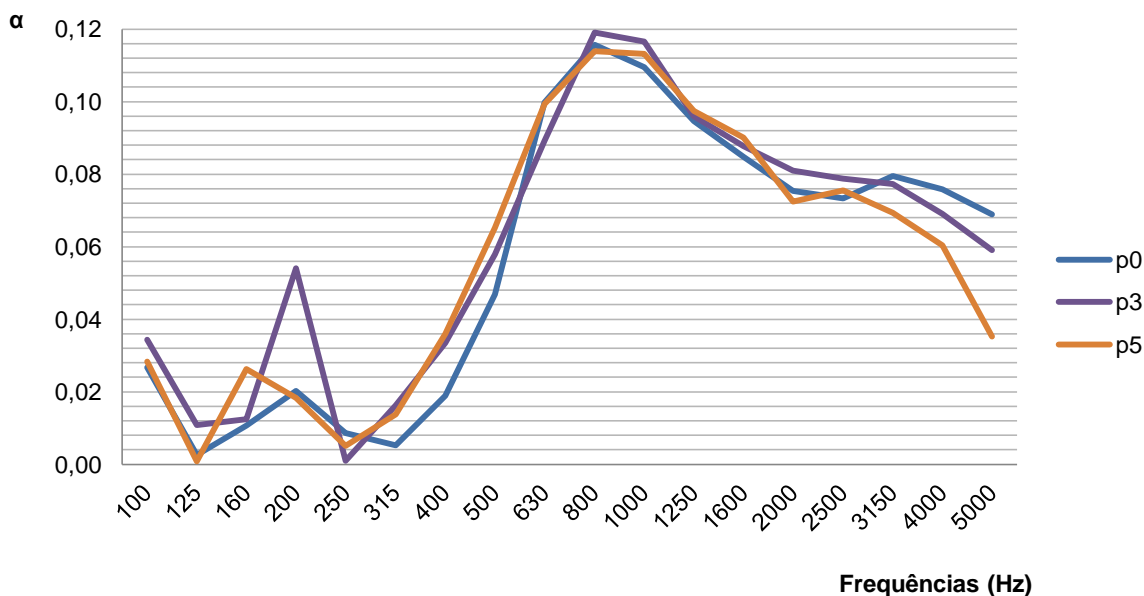


Figura III.37 Representação gráfica dos coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra com 2 demãos da tinta 'base' (p0), para a amostra com 3 demãos de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9** (p3) e para a amostra com 3 demãos de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 e 1% de granulado de cortiça C2** (p5), por banda de frequência

Influência do número de aplicações das formulações sobre o substrato

Neste caso, este estudo permitiu averiguar a influência do número de demãos das tintas desenvolvidas no aumento do respetivo coeficiente de absorção sonora.

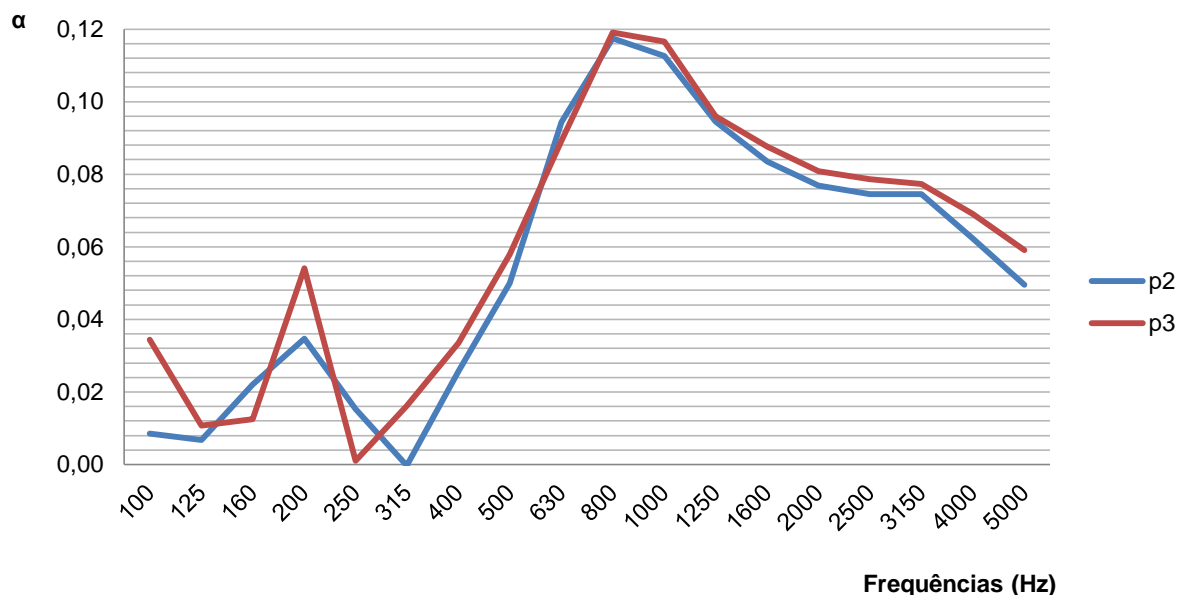


Figura III.38 Representação gráfica dos coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra com **2 demãos de tinta** com 5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 (p2) e para a amostra com **3 demãos de tinta** com 5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 (p3), por banda de frequência

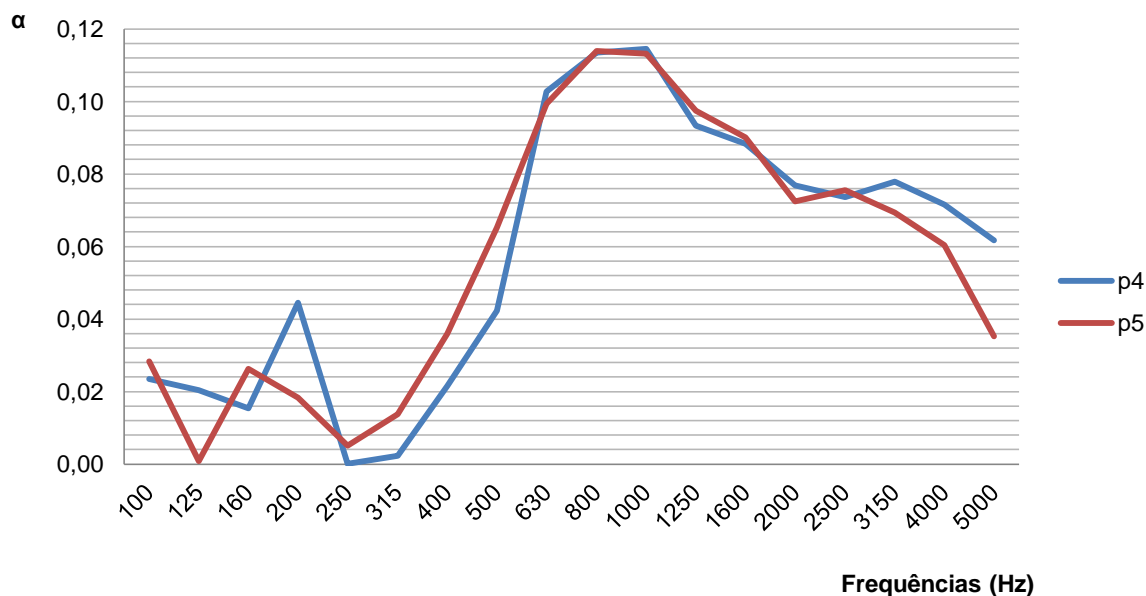


Figura III.39 Representação gráfica dos coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra com **2 demãos de tinta** com 5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 e 1% de granulado de cortiça C2 (p4) e para a amostra com **3 demãos de tinta** com 5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 e 1% de granulado de cortiça C2 (p5), por banda de frequência

Análise comparativa do coeficiente de absorção sonora da tinta já comercializada com as tintas aqui desenvolvidas

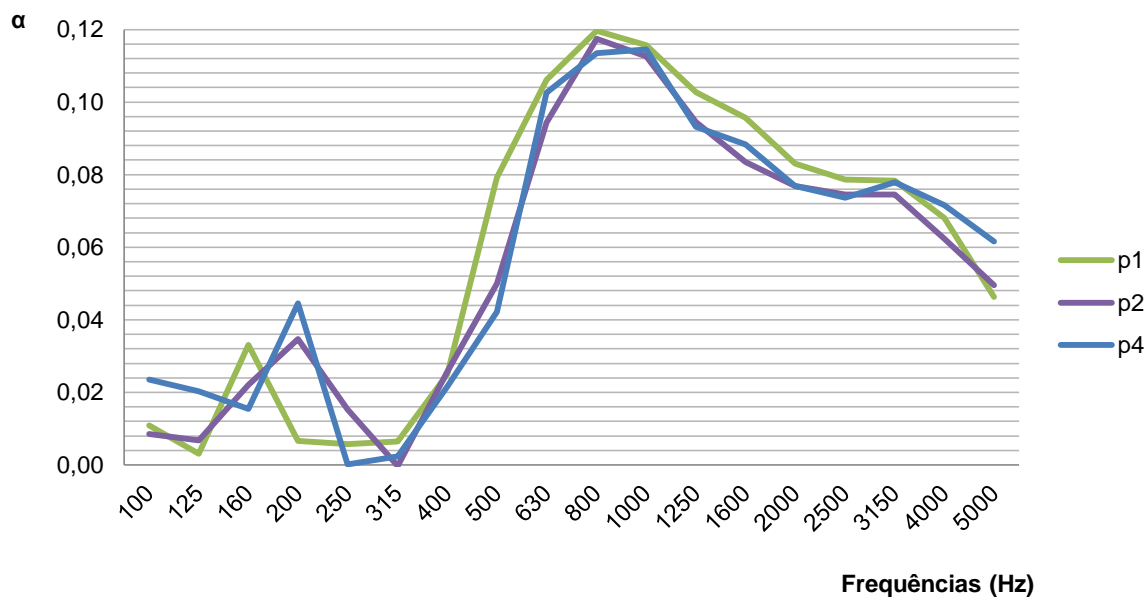


Figura III.40 Representação gráfica comparativa dos coeficientes de absorção sonora, α , para a amostra com 2 demãos de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9** (p2), para a amostra com 2 demãos de tinta com **5% de mistura de pó de cortiça C8 e C9 e 1% de granulado de cortiça C2** (p4) e para a amostra com 2 demãos da tinta KAR (p1), por banda de frequência.



Figura III.41 Câmara reverberante vazia

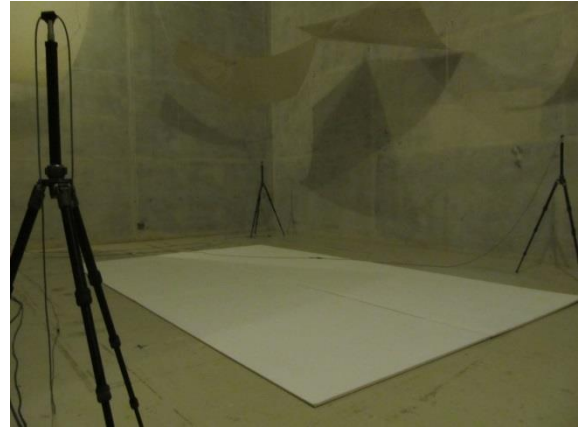


Figura III.42 Provete em gesso cartonado revestido com 2 demão da "tinta base"



Figura III.43 Provete em gesso cartonado revestido com 2 demão da tinta acústica KAR



Figura III.44 Provete em gesso cartonado revestido com 2 demãos de tinta com 5% de mistura de C8 e C9

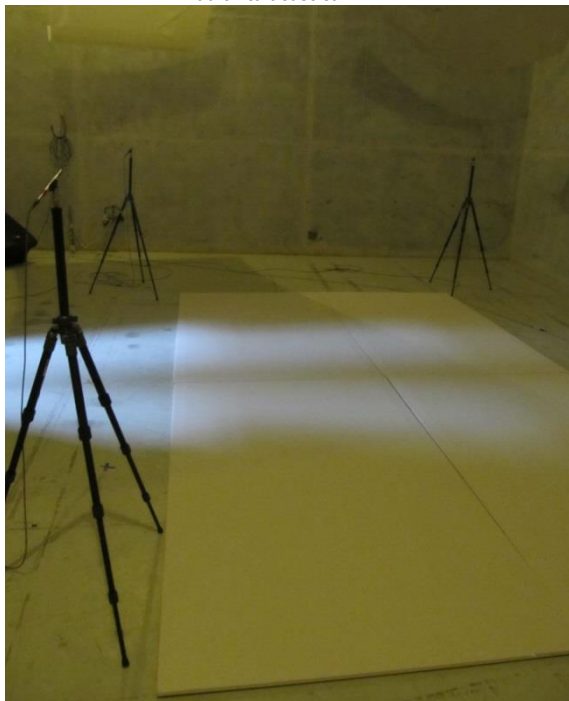


Figura III.45 Provete em gesso cartonado revestido com 3 demãos de tinta com 5% de C8 e C9



Figura III.46 Provete em gesso cartonado revestido com 2 demãos de tinta com 5% de C8 e C9 e 1% de C2



Figura III.47 Provete em gesso cartonado revestido com 3 demãos de tinta com 5% de C8 e C9 e 1% de C2

